

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

### **Vliv velikosti deformace na poškození ochranného povlaku plechu na bázi Zn-Mg**

### **Effect of the deformation of damaging the protective coating sheet based on a Zn-Mg.**

Bohumil Lorenc

**KSP- TP – B**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – *TU v Liberci*

#### **Rozsah práce a příloh:**

<b>Počet stran</b>	68
<b>Počet tabulek</b>	10
<b>Počet příloh</b>	1
<b>Počet obrázků</b>	81
<b>Počet grafů</b>	3

**Datum:** 24. 5. 2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Bohumil L O R E N C
Studijní program	B2341 Strojírenství
Studijní obor	3911R018 Materiály a technologie
Zaměření	Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

**Vliv velikosti deformace na poškození ochranného povlaku plechu na bázi Zn-Mg**

### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Materiály používané pro stavbu karoserie a základní typy ochranných povrchových vrstev.
2. Tření a jeho vliv na tvárnost lisovaných dílů.
3. Experimentální zjištění vlivu velikosti deformace na poškození ochranného povlaku Zn-Mg při různých stavech napjatosti.
4. Vyhodnocení výsledků měření.
5. Závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [1] BLAŠKOVÍČ, P.-BALLA, J.-DZIMKO, M.: *Tribolória*, ALFA Bratislava, 1990.
- [2] ŠTĚPINA, V.-VESELÝ, V.: *Maziva v tribologii*, Veda Bratislava, 1985.
- [3] BRENDL, H. - A KOLEKTIV: *Tribotechnika*, SNTL Praha, 1984.
- [4] MACHEK, V. VESELÝ, L. VESELÝ, M. VIŠŇÁK, J.: *Zpracování tenkých plechů*, SNTL Praha, 1983.
- [5] BOLJANOVIC, V.: *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*, New York 2004, ISBN 0-8311-3182-9.
- [6] DAVIS, J.R. et al. *ASM Metals Handbook, Vol. 14: Forming and Forging*. 9. vyd. [s.l.]: ASM International, 1988 978 s. ISBN 0871700204.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
vedoucí katedry



doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. ( v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



# ANOTACE

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

### Fakulta strojní

#### Katedra strojírenské technologie

#### Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Bohumil Lorenc

Téma práce: Vliv velikosti deformace na poškození ochranného povlaku  
plechu na bázi Zn-Mg

Effect of the deformation of damaging the protective rating sheet  
based on a Zn-Mg.

Číslo BP: KSP-TP-B

Vedoucí BP: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – *TU v Liberci*

#### **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou změny povrchové struktury povlaku v závislosti na stupni deformace. Obsahuje informace o základních materiálech a jejich protikoročních úpravách používaných při výrobě ocelových karosérií. V experimentální části je zaměřena na pozorování mikrostruktury povrchů po navození několika způsobů deformace.

#### **Abstract:**

This bachelor thesis deals with the changes in the surface structure of the coating, depending on the degree of deformation. Contains information on basic materials and anticorrosion coatings used in the manufacture of steel bodywork. In the experimental part is focused on the observation of the microstructure surface after induction of several modes of deformation.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. května 2013

.....

Bohumil Lorenc

Višňová 133

464 01 Frýdlant

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Pavlu Solfronkovi za odborné vedení mé práce a pomoc s přípravou vzorků k experimentální části. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomáši Pilvousekovi za spolupráci při analýze vzorků a poskytnuté konzultace a panu Ing. Lubomíru Rolečkovi za umožnění zpracovávání mé bakalářské práce ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi. Mé poděkování patří též paní Ing. Michaela Kolnerové za podněty a cenné připomínky při formální úpravě mé bakalářské práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za její podporu a poskytnuté zázemí při studiu.

## Obsah

1 Úvod .....	9
2 Materiály používané v automobilovém průmyslu .....	10
2.1 Základní rozdělení .....	10
2.1.1 Hlubokotažné oceli .....	11
2.1.2 Plechy z vysokopevnostních ocelí .....	11
2.2 Povrchová úprava povlaky .....	14
2.2.1 Zinkování .....	15
2.2.2 Textury povrchu .....	18
2.2.3 Trendy vývoje lázní pro žárové zinkování .....	19
2.2.4 Protikorozní povlak zinek-hořčík .....	20
2.3 Tření a jeho vliv na tvařitelnost .....	22
2.3.1 Koeficient tření .....	22
2.3.2 Druhy vnějšího tření při tváření .....	22
2.4 Přístroje a metody použité v experimentu .....	23
2.4.1 Princip konfokálního mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000 .....	23
2.4.2 Princip optické metody ARAMIS 4M .....	24
3 Experimentální část .....	27
3.1 Analýza materiálu .....	27
3.1.1 Základní specifikace .....	27
3.1.2 Analýza ThyssenKrupp ZM 100 .....	29
3.1.3 Analýza VoestAlpine ZM 90 .....	30
3.1.4 Analýza VoestAlpine ZM 100 .....	31
3.1.5 Analýza ArcelorMittal ZM 90 .....	32
3.1.6 Analýza ArcelorMittal Z 100 .....	33
3.2 Charakteristika povrchu při stavu jednoosé napjatosti .....	34
3.2.1 Příprava vzorků .....	34
3.2.2 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ThyssenKrupp ZM 100 .....	36
3.2.3 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 90 .....	37
3.2.4 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 100 .....	37
3.2.5 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal ZM 90 .....	38
3.2.6 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal Z 100 .....	38
3.2.8 Hodnocení geometrie povrchu .....	39

3.3 Charakteristika povrchu při víceosé napjatosti.....	41
3.3.1 Příprava vzorků.....	41
3.3.4 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ThyssenKrupp ZM 100, šířka vzorku $b=30\text{mm}$ .....	44
3.3.5 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 90, šířka vzorku $b=30\text{mm}$ .....	47
3.3.6 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal ZM 90, šířka vzorku $b=30\text{mm}$ .....	49
3.3.7 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ThyssenKrupp ZM 100, šířka vzorku $b=105\text{mm}$ .....	51
3.3.8 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 90, šířka vzorku $b=105\text{mm}$ .....	54
3.3.9 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal ZM 90, šířka vzorku $b=105\text{mm}$ .....	56
4 Zhodnocení výsledků.....	59
4.1 Zhodnocení výsledků při deformaci jednoosou napjatostí .....	59
4.2 Zhodnocení výsledků při víceosé napjatosti, $b=30\text{mm}$ .....	60
4.3 Zhodnocení výsledků při víceosé napjatosti, $b=105\text{mm}$ .....	61
5 Závěr.....	62
6 Seznam použitých zdrojů a literatury .....	63



## Seznam použitých zkratk a symbolů

ZM – povrch obsahující zinek a hořčík

HDG – žárově pozinkovaný plech

TK – ThyssenKruppSteel Europe AG

VA – VoestAlpine

AM - ArcelorMittal

IF oceli – Interstitials Free Steels

BH efekt – Bake Hardening

DP oceli – DualPhase Steels

TWIP – Twinning Induced Plasticity

CP oceli – Complex Phase Steels

TRIP – Transformation Inducted Plasticity

*Al* – hliník

*Sn* – cín

*Mg* – hořčík

*P* – fosfor

*C* - uhlík

$R_m$  – mez pevnosti [MPa]

$R_e$  – mez kluzu [MPa]

$\varepsilon$  – poměrné prodloužení [MPa]

# 1 Úvod

Současný automobilový průmysl neustále zvyšuje požadavky na používané materiály. Jedním z nejvíce diskutovaných témat je snižování hmotnosti automobilu při zachování, a v mnoha případech zlepšení, současných vlastností materiálů. V oblasti karosérie je kladen důraz na kvalitu povrchu plechů používaných na pohledových částech, tak aby byla zajištěna vysoká jakost laku bez nákladné přípravy podkladu. Současně je stále více kladen důraz na korozní odolnost plechů.

Nově používané ZM plechy se vyznačují snížením hmotnosti povrchové vrstvy zinku díky obsaženému hořčíku, který má výrazně nižší hustotu ( $1\,738\text{ kg/m}^3$ ) oproti čistému zinku ( $7\,140\text{ kg/m}^3$ ). Hmotnostní podíl ochranného zinkového povlaku plechů na karoserii automobilu tvoří zhruba 7,7 kg. Tyto plechy se dále vyznačují vysokou korozní odolností proti médiím obsahujícím sůl a dlouho trvající ochranný účinek poškození povrchu. Očekává se, že by tyto plechy mohly nahradit zhruba 20% používaných HDG plechů [1].

Má bakalářská práce shrnuje poznatky o materiálech používaných v automobilovém průmyslu se zaměřením na plechy s povrchovou úpravou ZM. V praktické části jsem se zabýval monitorováním změn povrchové struktury ZM plechů tří výrobců. Jednotlivé stavy deformace jsme navodili za pomoci statické zkoušky v tahu a metodou vypínání tvarových přístřihů polokulovým tažníkem.

## 2 Materiály používané v automobilovém průmyslu

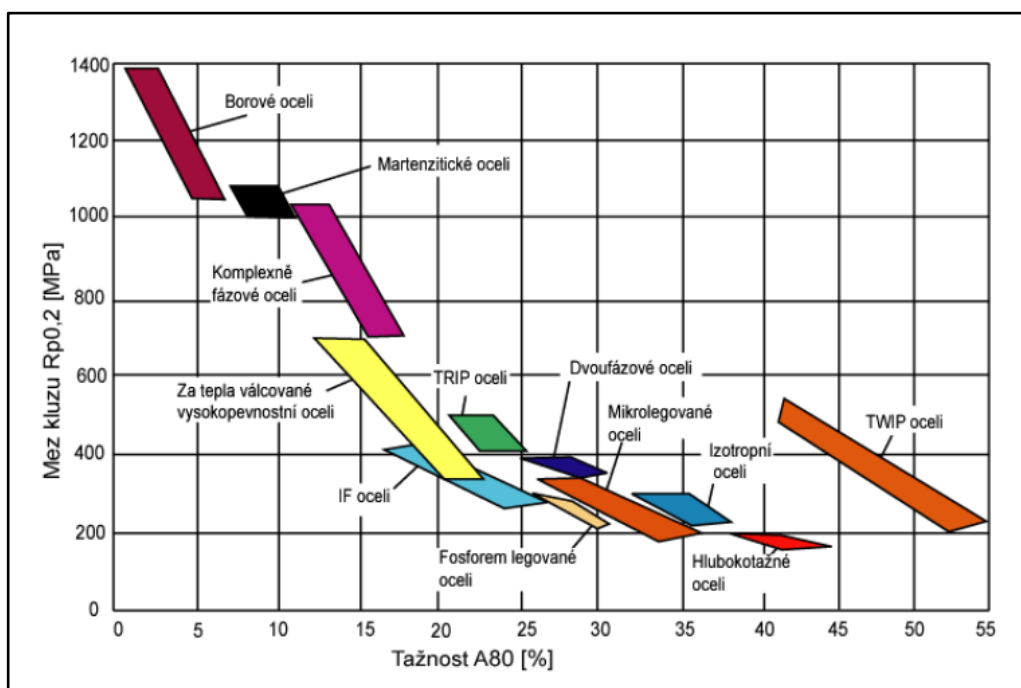
V současné době se výrobci automobilů zaměřují na snižování hmotnosti automobilu, které má přímý vliv na snížení spotřeby pohonných hmot a tím i ekologické zátěže v podobě emisí. V neposlední řadě lze snížit náklady nahrazením nákladných materiálů za materiály podobných vlastností.

Při výrobě karoserie automobilu se nejčastěji používají plechy s protikorozní úpravou v podobě zinkového povlaku. Povrch je zpravidla nanášen žárově anebo galvanicky.

### 2.1 Základní rozdělení

Karosérie moderních automobilů se v současné době vyrábějí lisováním ocelových plechů, neželezných materiálů, jako např. slitiny hliníku a hořčíku, plasty a další kompozitní materiály. Kvůli vysoké ceně a komplikované technologické zpracovatelnosti neželezných materiálů je jejich podíl v oblasti výroby karosérií malý.

Karosérie je tvořena bezpečnostními prvky, výtuhami a celý skelet zakrývají vnější pohledové plechy. Z tohoto důvodu se při výrobě jednotlivých částí používají různé druhy materiálů s rozdílnými mechanickými hodnotami [2].



**Obr. 2.1-1 Schéma mechanických vlastností používaných ocelí[6]**

### 2.1.1 Hlubokotažné oceli

Používají se pro výrobu složitých velkoplošných výlisků na vnější plechy karoserie. Hlubokotažné oceli jsou charakteristické nízkým obsahem  $C$  (do 0,04 %).

**Tab. 2.1-1 Mechanické vlastnosti hlubokotažných ocelí[2]**

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost $A_{80}$ [%]
270 – 420	180 – 280	< 40

**IF oceli** – oceli s feritickou matricí, hlavními mikrolegujícími prvky jsou  $Ti$  a  $Nb$ , které vytváří karbidy  $TiNC$  a  $NbNC$ . Volné intersticie v mřížce feritu zvyšují jeho pevnost a zároveň snižují zásobu plasticity a tvařitelnost za studena. Proto se tyto oceli vyznačují velmi nízkým obsahem  $C$  (pod 0,004 %) a  $N$  (pod 0,003 %). Tyto oceli jsou odolné vůči stárnutí i za zvýšených teplot, proto se používají při kontinuálním žárovém pozinkování. Z této oceli se nejčastěji vyrábí složité tvarové díly automobilových karosérií.[2] [9]

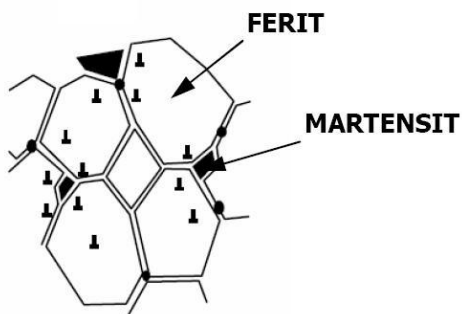
**Oceli s BH efektem** – efekt těchto ocelí spočívá ve zvýšení  $R_{p02}$  během procesu vypalování laku. Dochází k difúzi atomů uhlíku a dusíku. Po vytvrzení vykazuje materiál výraznou mez kluzu, která je o 30 až 80 MPa vyšší než před vypálením laku. BH efekt se může vyskytnout i u IF ocelí. Pro získání BH efektu se musí použít nižších obsahů  $Ti$  a  $Nb$ , tím v matrici zůstane dostatečné množství atomů  $C$  a  $N$ . Druhou možností je zvýšení teploty vypalování, tak aby došlo k rozpadu karbonitridických precipitátů, čímž vznikají atomy  $C$  a  $N$  nutné pro zakotvení dislokací. Z těchto plechů se vyrábí např. kapoty nebo postranice. [2][9]

### 2.1.2 Plechy z vysokopevnostních ocelí

**DP oceli** – nízko uhlíkové dvoufázové ocele, které mají charakteristickou mikrostrukturu. Matrice je jemnozrnná feriticko-martenzitická s obsahem feritu 70 až 90 %, martenzitu 10 až 30 %. Obsahuje i oblasti zbytkového austenitu, který se aktivně podílí na výhodné kombinaci pevnostně-plastických charakteristik. Feritická matrice umožňuje velmi dobrou plastickou deformaci a pevnost oceli ovlivňuje objemový podíl martenzitu. Mez pevnosti  $R_m$  se pohybuje od 500 do 800 MPa, mez kluzu  $R_e$  300 až 500 MPa. Jsou vhodné k výrobě plechových disků kol a podobných výlisků. [2] [9]

**Tab. 2.1-2 Mechanické vlastnosti DP ocelí[2]**

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost $A_{80}$ [%]
500 – 800	300 – 500	>30

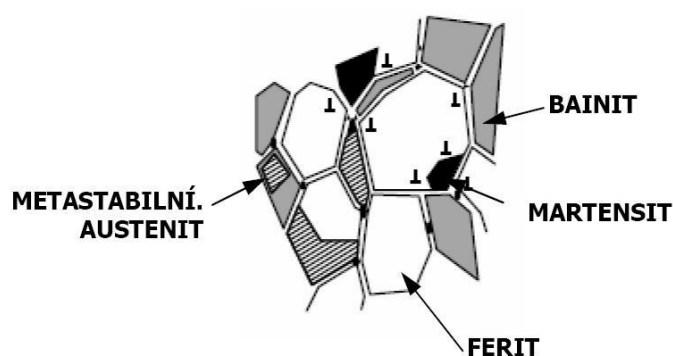


**Obr. 2.1-2 Schematické znázornění mikrostruktury DP oceli [2]**

**TRIP oceli**—při výrobě je snahou docílit feriticko-bainitickou strukturu, která obsahuje 6 až 10 % zbytkového metastabilního austenitu. TRIP efekt spočívá v tom, že se při působení vysokého napětí či deformace přemění zbytkový austenit na martenzit. TRIP ocel je legována 1,5 % *Si* a 2,0 % *Mn*. [2] [9]

**Tab. 2.1-3 Mechanické vlastnosti TRIP ocelí[2]**

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost $A_{80}$ [%]
700 – 1 100	400 – 700	20 - 30



**Obr. 2.1-3 Schematické znázornění mikrostruktury TRIP oceli [2]**

**TWIP oceli** – tyto oceli mají austenitickou matici s obsahem 15 až 20 % *Mn*, dalšími legujícími prvky jsou *Al* a *Si*. Ocel je charakteristická vysokou tažností, která je ovlivněná především rychlostí deformace. Základním mechanismem plastické deformace je dvojčatění austenitických zrn. Díky schopnosti deformovat se bez porušení a

absorbovat vysoké množství energie i po tváření, jsou tyto oceli předurčeny k použití u bezpečnostních prvků karosérií.[2] [9][10]

**Tab. 2.1-4 Mechanické vlastnosti TWIP ocelí[2]**

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost $A_{80}$ [%]
580 - 1480	280 - 1350	80 - 100

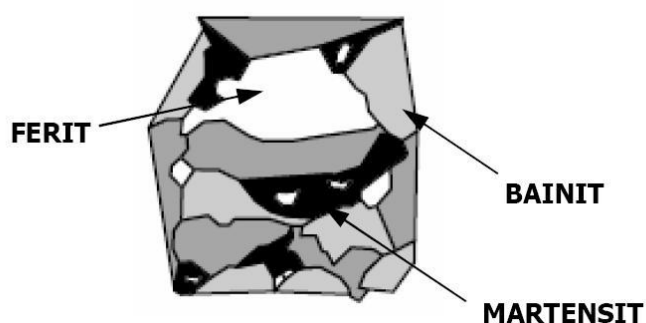


**Obr. 2.1-4 Ukázka vysoké deformace TWIP oceli [6]**

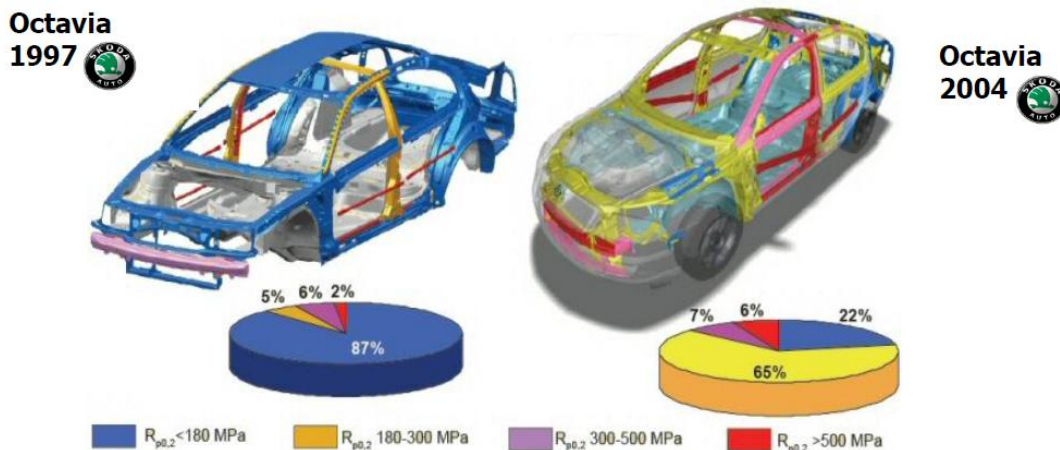
**CP oceli**–nizkouglikové oceli tvořeny více fázemi, základ tvoří feritická matrice obsahující strukturní složky bainit, martenzit a zbytkový austenit. Vyznačují se vysokou pevností, velkým deformačním zpevněním, kterého je docíleno kromě strukturního zpevnění i precipitačním. Při precipitačním zpevnění vytvoří přídavné prvky (např. *Nb*, *Ti* nebo *V*) jemné precipitáty. Tyto oceli jsou schopné velmi dobře pohlcovat energii, proto se používají k výrobě bezpečnostních prvků karosérií.[2] [9][10]

**Tab. 2.1-5 Mechanické vlastnosti CP ocelí[2]**

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost $A_{80}$ [%]
780 - 1130	600 - 920	$\approx 10$



**Obr. 2.1-5 Schematické znázornění mikrostruktury CP oceli [2]**



**Obr. 2.1-6 Rozvoj v používání ocelí vyšších pevností na karosérii automobilu [6]**

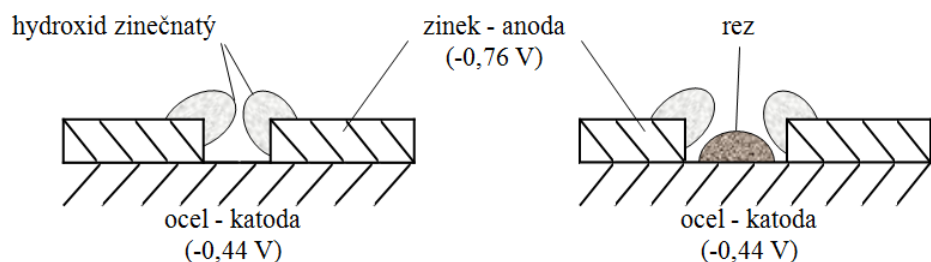
## 2.2 Povrchová úprava povlaky

Ochrana povlaky je jedním z nejrozšířenějších způsobů protikorozní ochrany kovových výrobků. Při úpravě již hotových výrobků je možné volit materiál požadovaných mechanických vlastností bez ohledu na jeho odolnost proti korozi. V mnoha případech slouží kovový povlak i jako estetické řešení výrobku.

### Rozdělení povlaků podle funkce:

1. Povlaky, které úplně izolují základní materiál od korozního prostředí. Musí být zcela souvislé a nepórovité. Patří sem povlaky z keramických smaltů, povlaky na oceli z ušlechtilých kovů než ocel, povlaky z plastů a oxidické vrstvy na slitinách lehkých kovů.

2. Povlaky, které chrání základní ocelový materiál částečně na základě své elektrochemické funkce. Tato metoda využívá elektrické vlastnosti kovů. Pokud má povlakový kov vzhledem k základnímu materiálu záporný potenciál, vytvoří v póru anodu, rozpouští se a korozní zplodiny zabraňují dalšímu pronikání korozního prostředí k základnímu kovu. Tuto schopnost má zinek, kadmium a hliník. U pozinkovaného plechu má zinek větší záporný potenciál (-0,76 V), chová se jako rozpustná anoda. Ocel, ve které je vysoký podíl železa, má menší záporný potenciál (-0,44 V) a zastupuje úlohu nerozpustné katody. V pórech ochranného kovového povlaku se zinek rozpouští, jsou-li póry větších rozměrů, nestačí okolní zinek ocel chránit a na těchto místech hrozí přímý styk s korozním prostředím. Proto je požadavek na dostatečnou tloušťku zinkové vrstvy, aby se póry mohly dostatečně zalít. Schéma této koroze je znázorněno na Obr. 2.2-1.



**Obr. 2.2-1 Schematické znázornění koroze u zinkového povlaku [2]**

3. Povlaky z materiálů, které mají schopnost odstraňovat z pronikajícího prostředí složky, které urychlují korozi. Patří sem nátěry, které jsou vždy propustné pro vodu a kyslík. Ochranná schopnost nátěrů je způsobena přítomností různých pigmentů s inhibičními účinky [3].

### **2.2.1 Zinkování**

#### **Chemické kovové povlaky**

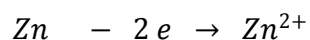
Vytváří se bez účinku vnějšího zdroje elektrického proudu, k přenosu je využitý rozdíl potenciálů mezi základním kovem a roztokem soli povlakovaného kovu. Podmínkou dobré chemické úpravy povrchu je dokonale čistý povrch, bez zbytků rzi, okujů nebo jiných korozních produktů [3].

#### **Elektrochemické kovové povlaky (galvanické pokovování)**

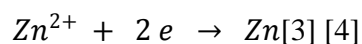
Jsou vytvářeny elektrolýzou. Při elektrolýze se vylučují ionty z elektrolytu (vodného roztoku kovových solí nebo taveniny) za působení vnějšího zdroje elektrického stejnosměrného proudu prostřednictvím dvou elektrod. Na katodě (záporná elektroda) se začne vylučovat kovový zinek obsažený v elektrolytu. Elektrolýza by probíhala jen po dobu, dokud by byl v roztoku obsažený zinek. Aby elektrolýza mohla pokračovat, je nutné použít rozpustnou anodu (kladnou elektrodu). Jako anoda se používá kov, který má být vylučován, při pozinkování je anoda vyrobena ze zinku. Při zapojení proudu se začne anoda rozpouštět a kladné ionty se vylučují do elektrolytu. Množství kovu na katodě je stejně velké jako množství kovu rozpuštěného na anodě.

Dílčí reakce tohoto typu elektrolýzy:

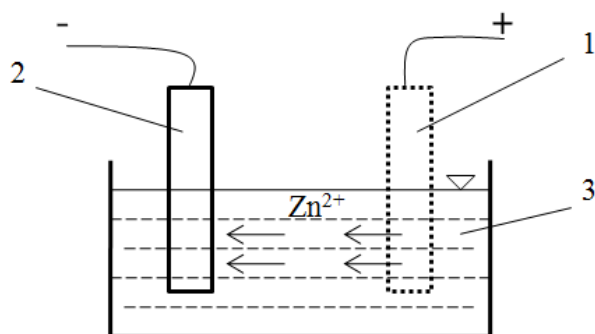
Přechod kladných iontů do roztoku:



Spojení kovových iontů s elektrony na katodě

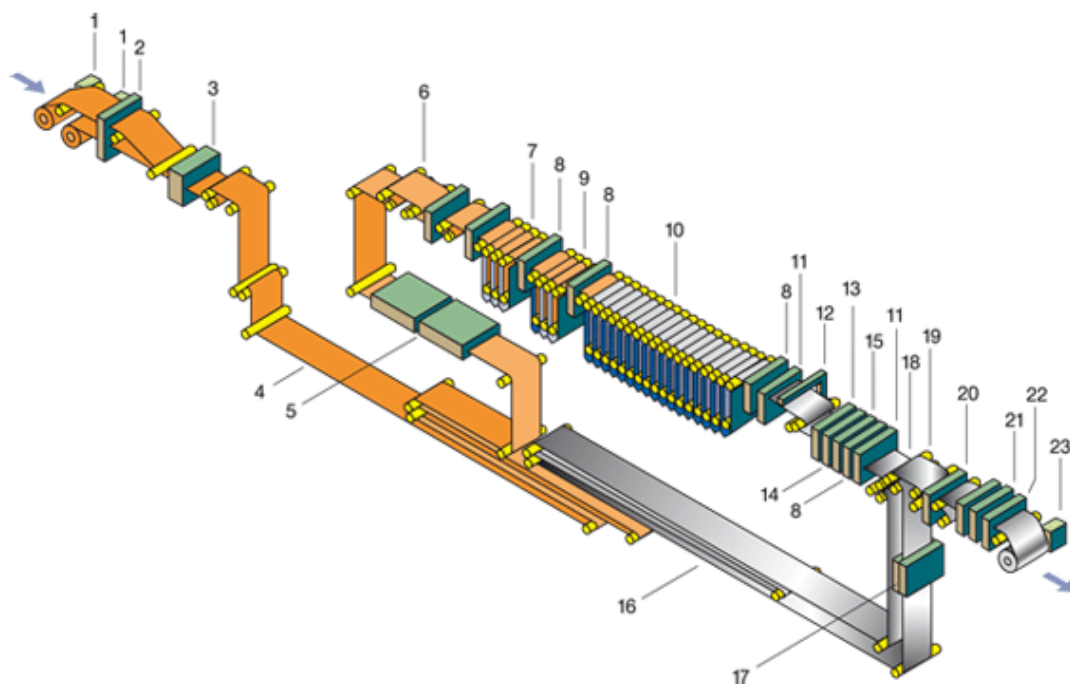






**Obr. 2.2-2 Elektrolytické (galvanické) pokovování, 1- anoda (povlakový kov), 2- katoda (pokovované součásti), 3- elektrolyt[3]**

V současné době se pro elektrolytické pokovování plechů používá způsob s plochými anodami, kdy je zinek obsažen spolu s dalšími prvky v roztoku. Schéma takového způsobu je na Obr. 2.2-3

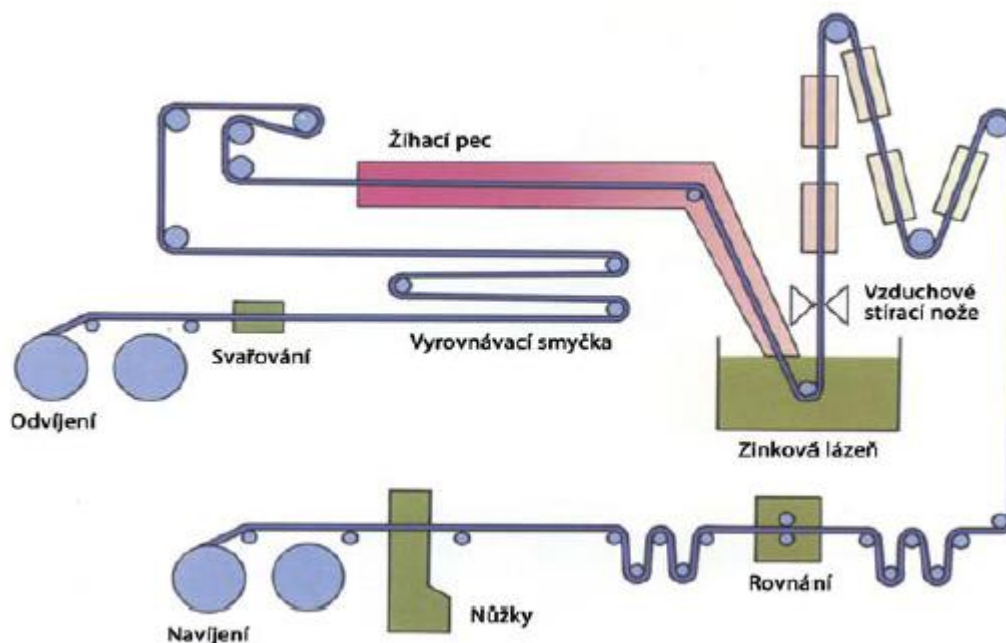


**Obr. 2.2-3 Elektrolytické pokovování plechů, 1-odvíječ, 2-zastříhávač, 3-svářecí stroj, 4-kompenzační smyčka, 5-čištění plechu, 6-vyrovnání, 7-elektrolytické čištění, 8-mytí, 9-moření, 10-elektrolytické zinkování se 17 buňkami, 11-sušení, 12-měření zinkové vrstvy, 13-aktivace, 14-fosfátování, 15-pasivace (bez chromu), 16-kompenzační smyčka, 17-kontrola stavu, 18-kontrola povrchové vrstvy, 19-měření drsnosti, 20-zastříhovač, 21-elektrostatické mazání, 22-kontrola olejového filmu, 23-navíječ [15]**

## Žárové pokovení

Při žárovém pokovení se ponořuje základní kov do roztaveného povlakového kovu. Před samotným povlakováním se musí základní kov očistit. Nejčastěji se čistí mořením v kyselině chlorovodíkové nebo sírové. Hrubé povrchové nečistoty jako je např. struska, mazací tuk nebo olej se musí odstranit ještě před mořením. Principem žárového pokovení je vytvoření povlaku reakcí mezi základním a povlakovým kovem (intermetalická fáze). Vznik a složení spojení obou kovů zjišťujeme z *rovnovážných diagramů železo – povlakový kov*. Pro použití žárového pokovení musí mít základní kov vyšší teplotu tání než roztavený kov pokovovací lázně. Tuto podmínku v praxi splňuje cín, zinek, olovo a hliník. Pokovovací lázeň obsahuje další legovací přísady, které upravují přilnavost roztaveného kovu a vlastnosti vzniklých fází. Nejrozšířenějším způsobem je *žárové zinkování*, zinkují se plechy, pásy, dráty, trubky, pletivo a různé konstrukce. Roztavený kov v lázni má teplotu 440 – 470 °C.

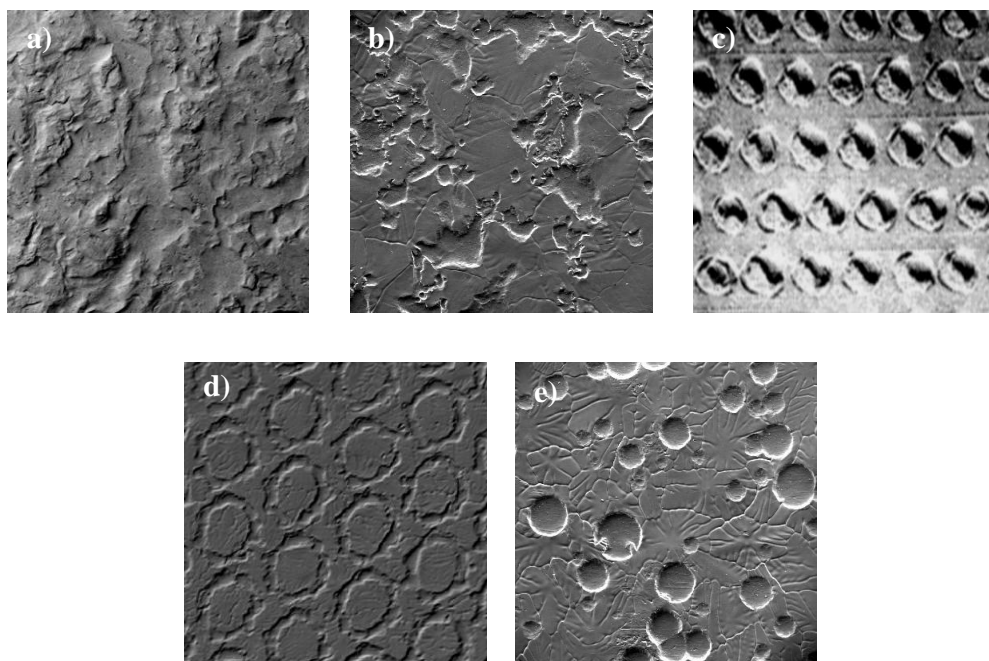
Proces žárového pokovování plechů používaných pro lisování karosérií automobilů začíná odmašťováním. Odmaštění probíhá v lázni s tenzidy a bakteriemi, tento způsob je ekologičtější než dříve používané alkalické odmašťování. Díky těmto lázním s tenzidy a bakteriemi je možné vynechat oplachovou lázeň a přejít přímo k moření. Moření slouží k odstranění rzi a okují z povrchu plechu. Moří se v kyselině chlorovodíkové (cca 10 až 12 %), v kyselině sírové (max. 20 %) nebo chloridu železnatém (5 % kyselina chlorovodíková a cca 170 g chloridu železnatého). Po moření se povrch redukcí při 950 °C zbaví oxidů a současně probíhá změkčovací žíhání oceli. Ocelový pás v ochranné atmosféře vstupuje přímo do zinkovací lázně. Po několikasekundovém průchodu zinkovací lázní vychází pás kolmo vzhůru do vzduchových stíracích nožů, které jemným proudem vzduchu nebo páry stírají zinkový povlak na požadovanou tloušťku. Ocelový pás dále prochází přes ochlazovací sekci, rovnání a úpravu, kde se provádí ochrana proti vzniku bílé rzi. V této sekci je texturovaný pracovní válec, který na povrchu plechu vyválnuje požadované mikrogeometrické parametry, které jsou optimální jak pro lisovatelnost, tak i pro kvalitu laku. Schematické znázornění žárového zinkování ocelových pásů je na Obr. 2.2-4[4] [5].



*Obr. 2.2-4 Kontinuální žárové zinkování plechu. [5]*

## 2.2.2 Textury povrchu

- **SBT** (Shot Blast Texturing) – Mechanické otryskávání jemnozrnným granulátem
- **EDT** (Electric Discharge Texturing) – Matování prostřednictvím elektrojiskrového výboje
- **LT** (Laser Texturing) – Matování prostřednictvím laserového paprsku
- **EBT** (Electron Beam Texturing) – Matování prostřednictvím elektronového paprsku
- **PRETEX** (Preussag Texturing) – Matování prostřednictvím válců s vyloučenými polokouličkami chromu na jejich povrchu [5]



***Obr. 2.2-5 Typy morfologií žárově pozinkovaného plechu, a) SBT, b) EDT, c) LT, d) EBT, e) PRETEX[6]***

### **2.2.3 Trendy vývoje lázní pro žárové zinkování**

Ochranný povlak tvořený zinkem se vyznačuje velmi dobrou protikorozní odolností. Při působení agresivního korozního prostředí jako je např. mořské ovzduší se jeví odolnost proti korozi jako nedostačující. Prodloužení doby exploatace je v těchto podmínkách možné zvětšením tloušťky povlaku.

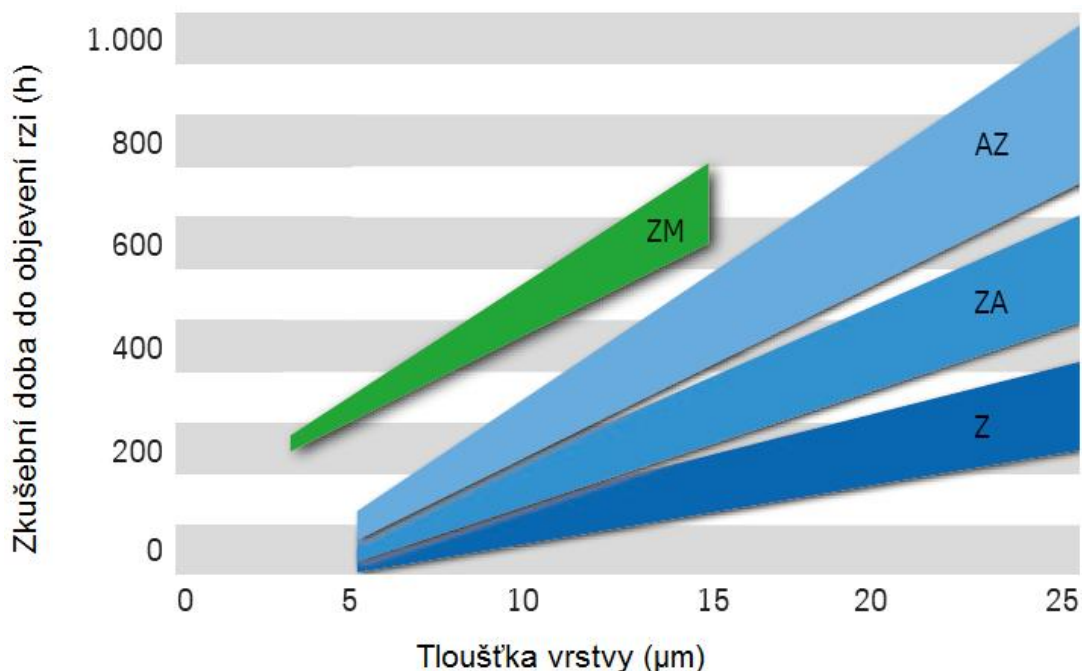
Polovina světové produkce zinku se spotřebuje na výrobu povlaků. V posledních letech je pozorována velká nestabilita ceny zinku a nabídka v poměru k poptávce roste příliš pomalu. Tato situace nabízí hledání metod ke snížení jeho spotřeby. Proto se začíná veškerá pozornost obracet na zvyšování korozní odolnosti těchto povlaků z chemického hlediska, čímž je možné zmenšit tloušťku ochranného povlaku.

Zlepšování korozní odolnosti kovových povlaků způsobuje neustálý vývoj metody přes modifikaci chemického složení zinkovací lázně. Jedním z prvků přidávaných do pozinkovací lázně je hliník. Zinko-hliníkové povlaky se vytváří v lázni s obsahem 5 % Al (Galfan) a 55 % Al (Galvalume). Tato metoda se používá pro kontinuální pokovování plechu, pásů a drátů.

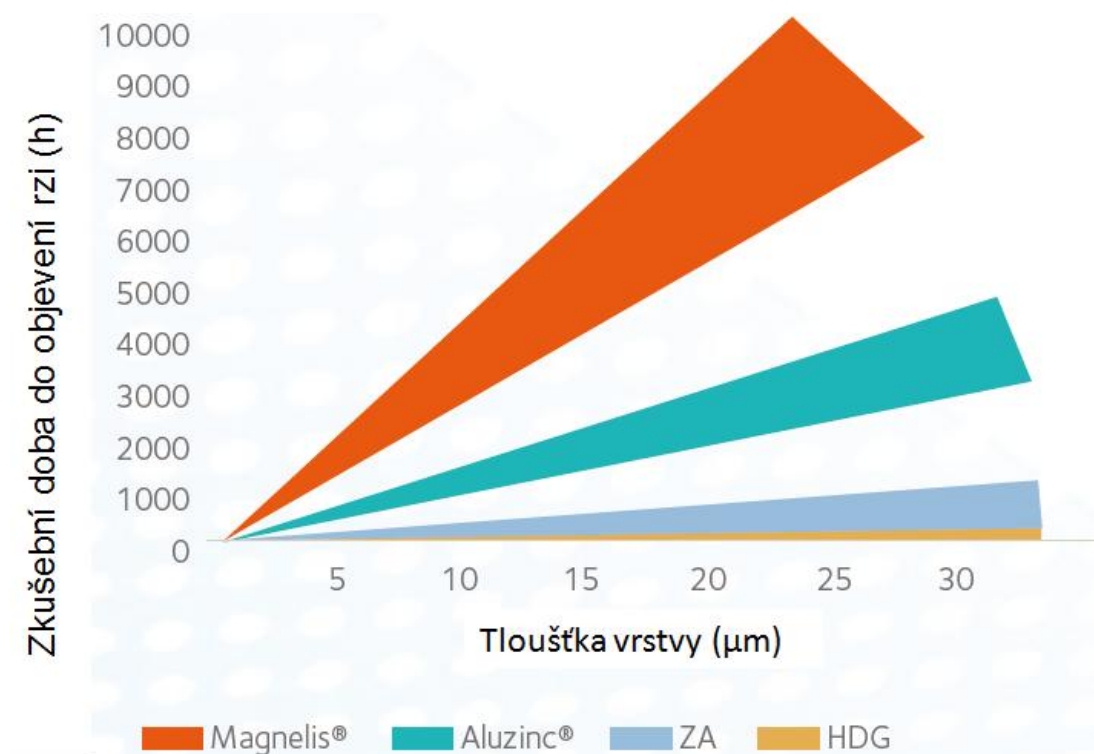
Dalším používaným legujícím prvkem je hořčík, který má velice příznivý vliv na korozní odolnost povlakové vrstvy viz. kapitola 2.2.4 [8].

#### 2.2.4 Protikorozní povlak zinek-hořčík

Plechý se kontinuálně žárově pozinkují v otevřených zinkovacích lázních s obsahem 1 % přidaného hořčíku. Značné zvýšení je pozorováno při použití lázní s přísadou 0,4 - 1,7 % Mg. V současné době různí výrobci nabízejí kombinace od 1%Al, 1%Mg, 98% Zn do 3% Al, 3,7%Mg, 93,3%Zn. Provedené výzkumy prokázali, že přísada 0,3 hm. % Mg způsobuje významný růst odolnosti proti korozi. Velký obsah Mg v zinkovací lázni může způsobovat okysličování na povrchu lázně. Tyto povlaky mají vyšší protikorozní odolnost než samotný zinkový ochranný povlak. Tato skutečnost umožňuje zmenšit tloušťku ochranného povlaku a tím snížit náklady na materiál. Obsažený AL a Mg v pokovovací lázni snižuje její hmotnost, což má vliv na zlepšení ekonomiky procesu[8].



**Obr. 2.2-6 Porovnání korozní odolnosti zinkovaných plechů ThyssenKrupp, AZ-GALVALUME®, ZA- GALFAN® (zinko-hliníkový povlak), Z- zinkový povlak, ZM-EcoProtect® (zinko-hořčíkový povlak)[1]**



**Obr. 2.2-5 Porovnání korozní odolnosti zinkovaných plechů ArcelorMittal, Magnelis (zinek-hliník-hořčík), Aluzinc (55 % hliník-43,4 % zinek), ZA (95 % zinek-5 % hliník), HDG (zinek)[12]**

Z hlediska lisování jsou tyto úpravy vhodné pro všechny známé plechy válcované za studena. Způsob zinkování v kombinaci s povrchovou topografií má rozhodující vliv na tribologické vlastnosti tváření. ZM povrchy obecně vykazují podobné třecí vlastnosti a opotřebení. Charakteristickým ukazatelem chování z hlediska tribologie je koeficient tření.

## 2.3 Tření a jeho vliv na tvařitelnost

Při tváření plechů má tření negativní vliv na skluz plechu po tvářecí ploše nástroje. Při procesu má ale také svou nezastupitelnou roli. Pokud je potřeba v určité části výlisku zachovat větší tloušťku materiálu, nabízí se možnost v této oblasti upravit díl formy tak, aby vzrostl součinitel tření mezi formou a tvářeným plechem. Dalším případem, kde se s úspěchem využívá tření, je použití přidržovače v operaci hlubokého tažení. Přidržovač dosedne na plech těsně před hlubokým tažením a za stálého tlaku přidržuje okraje plechu. Díky tomu se zabrání vzniku přeložení a umožní se dostatečné přetváření tak, aby se výlisek deformačně zpevnil. V neposlední řadě sehraává tření významnou úlohu při tváření rovinných ploch na výlisku, kde by hrozilo nedostatečné ztenčení plechů. Tato situace se řeší úpravou dutiny formy přidáním brzdící lišty. Tření je naopak nežádoucí v oblastech výlisku, kde nastávají velké deformace a nacházejí se ostré hrany a přechody. Tuto situaci řeší obor Tribologie. Tento vědní obor se zabývá použitím maziv a vhodné struktury povrchu plechu při tváření.

### 2.3.1 Koeficient tření

Koeficient tření  $f$  je měřítkem třecí síly ve vztahu k přítláčné síle. Při určování koeficientu tření se rozlišuje mezi koeficientem smykového tření za klidu a pohybu. Odpor proti posuvu na dotkových plochách je možné vyjádřit pomocí Coulombova zákona (3.2.1).

$$F_t = f \cdot F_N \quad [N] \quad (3.2.1)$$

$F_t$  – třecí síla [N],  $f$  – součinitel smykového tření [-],  $F_N$  – kolmá tlaková síla [N]

V praxi je ale vidět závislost smykového tření na teplotě, rychlosti a tlaku. Tyto závislosti ovlivňuje struktura a povrch, který není nikdy naprosto rovný[13].

### 2.3.2 Druhy vnějšího tření při tváření

Při tváření se rozlišují zpravidla tři základní druhy tření, lišící se fyzikální podstatou.

Jsou to:

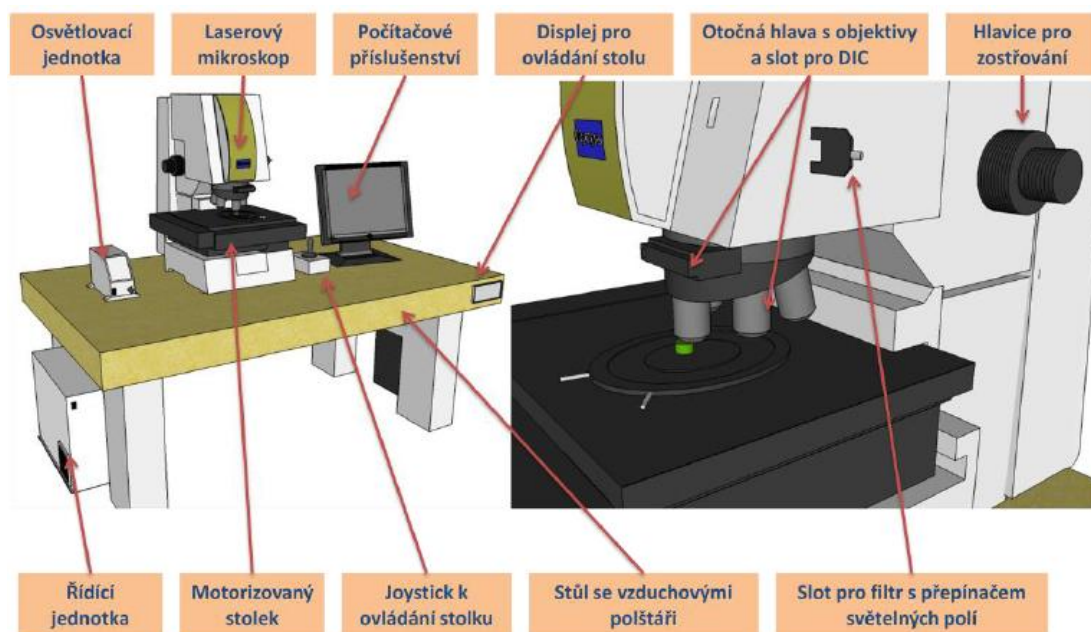
- a) Suché tření – nastává při přímém dotyku nástroje a materiálu bez mezivrstvy jiné látky.
- b) Kapalinné tření – uplatňuje se viskózně plastického účinku maziva, které tvoří souvislý povlak na pracovních plochách nástrojů.

- c) Polosuché tření – přímý styk nástroje a materiálu nastává jen v některých místech dotkových ploch a v jiných místech je tření viskózně plastické povahy

## 2.4 Přístroje a metody použité v experimentu

### 2.4.1 Princip konfokálního mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000

Pro zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy vzorků jsem použil konfokální mikroskop Olympus LEXT OLS 3000. Konfokální mikroskopy disponují vysokým rozlišením (až 0,12  $\mu\text{m}$ ) a patří k nejmodernější generaci pozorovacích zařízení. Díky principu mikroskopu založenému na řádkování bod po bodu, lze získat trojrozměrnou představu o pozorovaném objektu. Mikroskop snímá optické řezy v rovině XY a díky posuvu objektivu i jednotlivé optické řezy v rovině Z. Výsledný trojrozměrný pohled na pozorovaný objekt je složen z jednotlivých optických řezů. Díky tomuto principu je zaručena vysoká ostrost obrazu i při vysokých zvětšeníh [7].

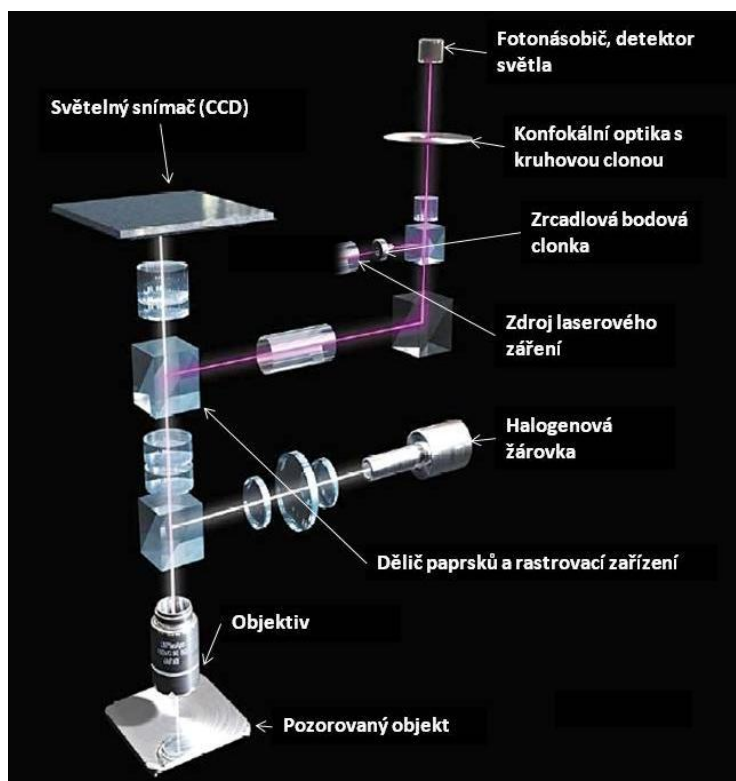


**Obr. 2.4-1 3D model konfokálního laserového rastrovacího mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000 s popisem nejdůležitějších částí. [7]**

Mikroskop umožňuje snímání dvourozměrného obrazu snímaného objektu v reálných barvách až do zvětšení 2 400x, nebo v konfokálním režimu. V tomto režimu je obraz objektu zobrazen jako výšková mapa ve stupních šedi. Konfokální („mající stejná ohniska“) princip je založen na snímání úzce zaměřeným laserovým paprskem o vlnové



délce  $408\text{nm} \pm 5\text{nm}$ . Snímání probíhá v rovině XY. Princip konfokálního rastrovacího mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000 je znázorněn na Obr. 2.4-2 [7].



***Obr. 2.4-2 Princip konfokálního mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000 [7]***

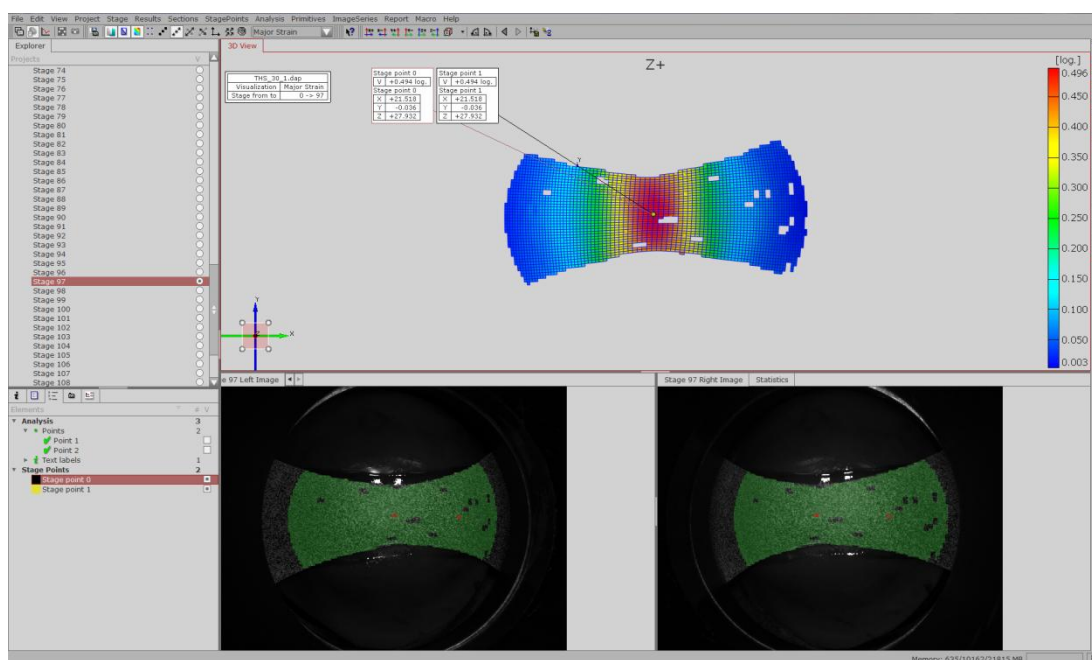
#### **2.4.2 Princip optické metody ARAMIS 4M**

Optická měřicí metoda ARAMIS 4M je založena na principu 3D optického snímání objektu dvěma kamerami a následného převedení obrazu do CAD dat. Na vzorek se musí před měřením nanést rastrová síť. Podklad tvoří bílá barva, která se nepravidelně popráší černou barvou. Systém ARAMIS si snímaný obraz vytvořené sítě přeformátuje na mřížku o velikosti parametru 14 pixel. Jednotlivým oblastem přidělí šedý odstín z černobílé palety, která čítá na 256 odstínů s ohledem na poměr černé barvy na bílém podkladu zobrazeného objektu. Na základě vzájemného posunutí se vypočítají hodnoty jako např. deformace atd.



***Obr. 2.4-3 Připravený vzorek s nanesenou sítí pro optickou měřicí metodu***

Pracovní prostředí (viz obr. 2.4-4) disponuje seznamem s jednotlivými zaznamenanými snímky, grafickým 3D modelem zkoumaného vzorku a reálnými obrazy z obou snímacích kamer.



***Obr. 2.4-4 Pracovní prostředí software ARAMIS - v6.3.0-3***



***Obr. 2.4-5 Vzorok z metody vypínání tvarových přístřihů polokulovým tažníkem za pomoci optického měřicího systému ARAMIS 4M***

### 3Experimentální část

Praktická část mé bakalářské práce je zaměřena na pozorování struktury povrchu materiálu při různých stupních deformace. Pro správné porozumění a získání informací o struktuře použitého povrchu vybraných vzorků byla provedena chemická analýza povrchového povlaku materiálu v nepřetvořeném stavu. Chemická analýza se prováděla na TU v Liberci, laboratoře analytický metod.

Při zkoumání mikrostruktury povrchu bylo důležité deformovat vzorky tak, aby se podmínky deformace co nejvíce blížily lisování plechů při reálném provozu. Pro navození jednoosého stavu napjatosti se zvolila statická zkouška tahem. Zkouška tahem proběhla podle normy EN ISO 6892-1. Pro simulaci víceosé napjatosti byla zvolena vypínací zkouška. Pro tuto zkoušku byly vybrány dva typy vzorků, které simulovaly různě složité namáhání.

#### 3.1 Analýza materiálu

Pro experimentální část bylo vybráno 5 vzorkůplechů od různých dodavatelů. Především se jednalo o 4 plechy povlakované žárovým zinkováním s přidaným legujícím hořčíkem. Pro srovnání byl zařazen i jeden vzorek HDG vyrobený žárovým zinkováním bez přidaného hořčíku. Materiál byl analyzován z chemického hlediska pomocí skenovacího elektronového mikroskopu v nepřetvořeném stavu. Výsledky jsou zpracované na základě technickovýzkumné zprávy TU v Liberci, laboratoře analytických metod. Chemická analýza pomocí elektronového mikroskopu nevyjadřuje průměrné složení, ale pouze lokální výskyt prvků. Záleží tedy na kterém místě je daný vzorek analyzován.

##### 3.1.1 Základní specifikace

*Tab. 3.1-1 Základní specifikace vzorků*

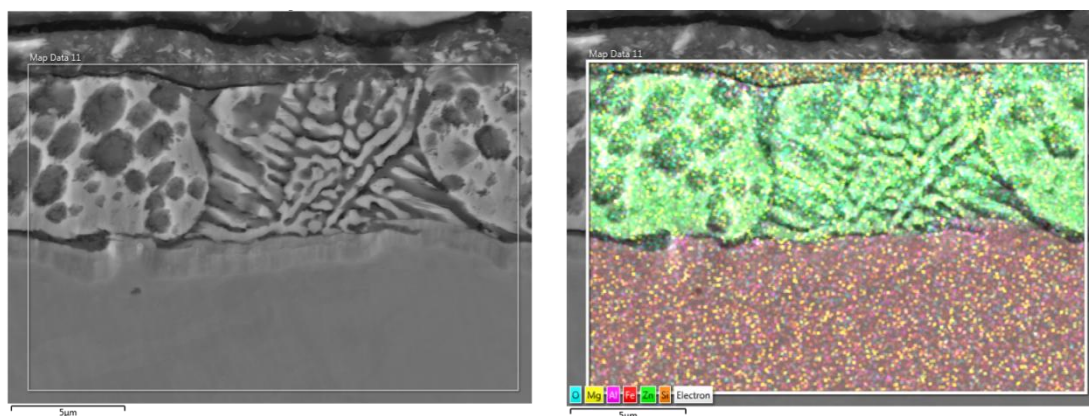
Dodavatel	Označení	Typ povrchu	Hmotnost povlaku
ThyssenKrupp	<b>DX56DZM 100</b>	Zn – Mg	100 g/m <sup>2</sup>
VoestAlpine	<b>DX56D BO ZM 90</b>	Zn – Mg	90 g/m <sup>2</sup>
VoestAlpine	<b>DX57D ZM 100</b>	Zn – Mg	100 g/m <sup>2</sup>
ArcelorMittal	<b>DX57D ZM 90</b>	Zn – Mg	90 g/m <sup>2</sup>
ArcelorMittal	<b>HX220B BO Z 100</b>	Zn	100 g/m <sup>2</sup>

Vzorec na výpočet tloušťky zinkového povlaku:

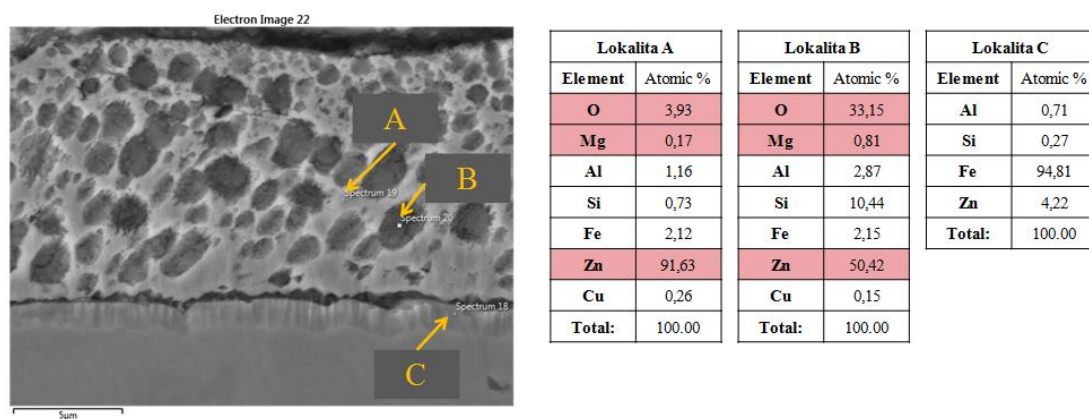
$$\frac{m_{Zn}}{2 \times \rho_{Zn}} = t_{Zn} \quad [\mu m] \quad (4.1.1)$$

$m_{Zn}$  – hmotnost zinkového povlaku  $g/m^2$  (oboustranně),  $\rho_{Zn}$  – hustota zinku  $g/cm^3$ ,  $t_{Zn}$  – tloušťka povlaku v  $\mu m$  (na jednom povrchu)[14]

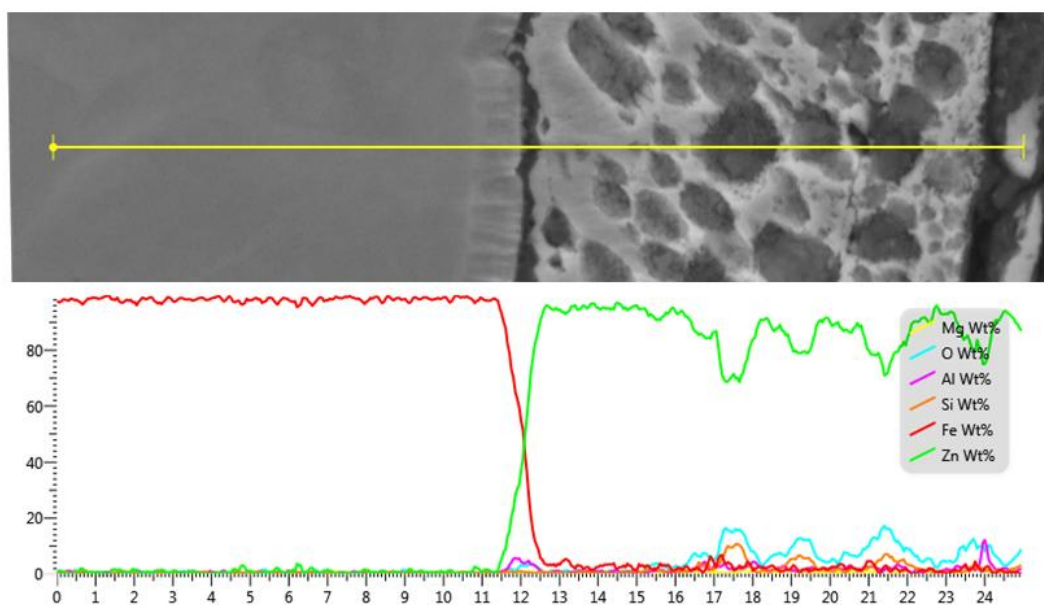
### 3.1.2 Analýza ThyssenKrupp ZM 100



**Obr. 3.1-1 Snímek řezu povrchové vrstvy TK ZM100, vlevo z elektronového mikroskopu, vpravo vyobrazení chemických prvků**



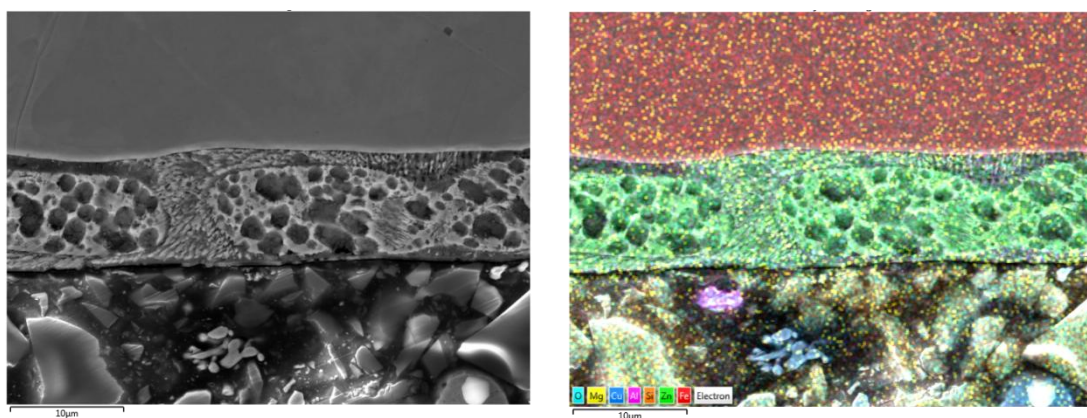
**Obr. 3.1-2 Chemické složení povrchové vrstvy TK ZM100**



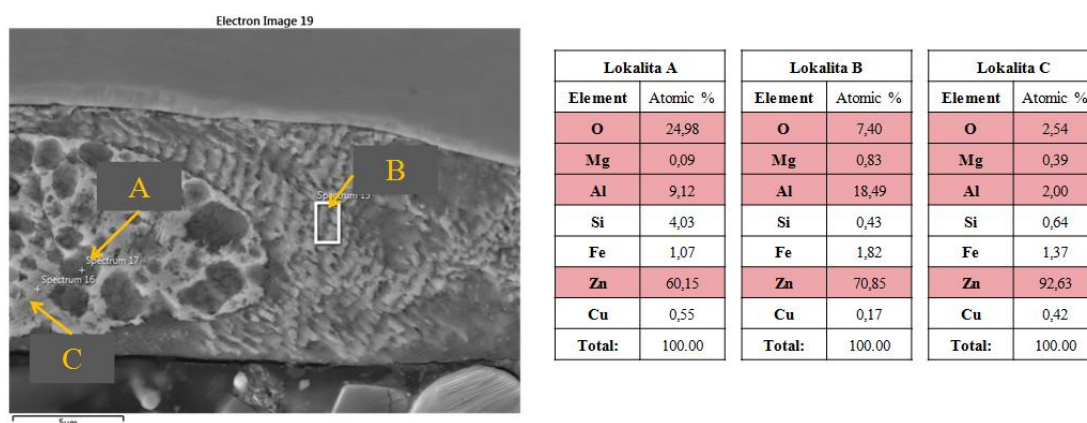
**Obr. 3.1-3 Diagram chemického složení podél příčného řezu**



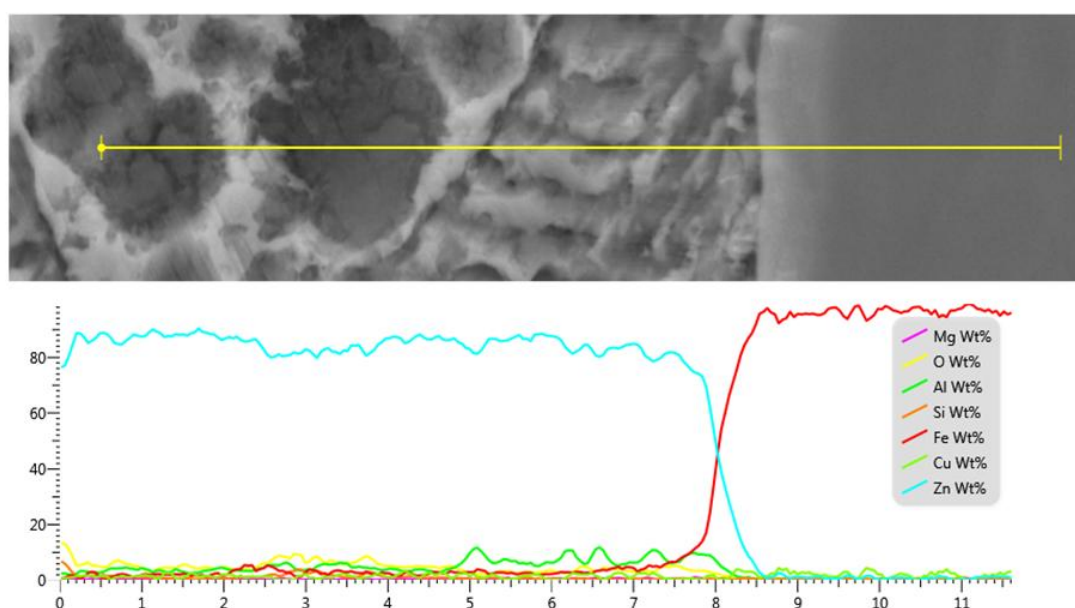
### 3.1.3 Analýza VoestAlpine ZM 90



**Obr. 3.1-4 Snímek řezu povrchové vrstvy VA ZM90, vlevo z elektronového mikroskopu, vpravo vyobrazení chemických prvků**

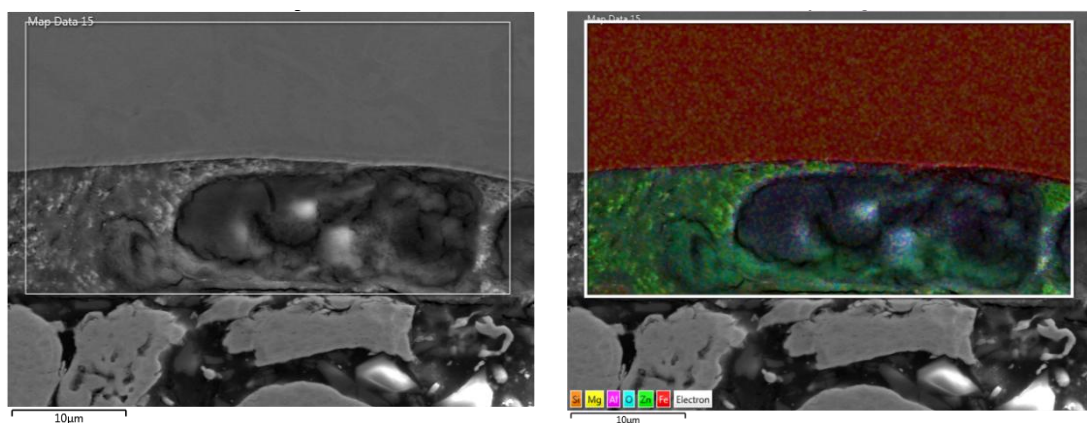


**Obr. 3.1-5 Chemické složení povrchové vrstvy VA ZM90**

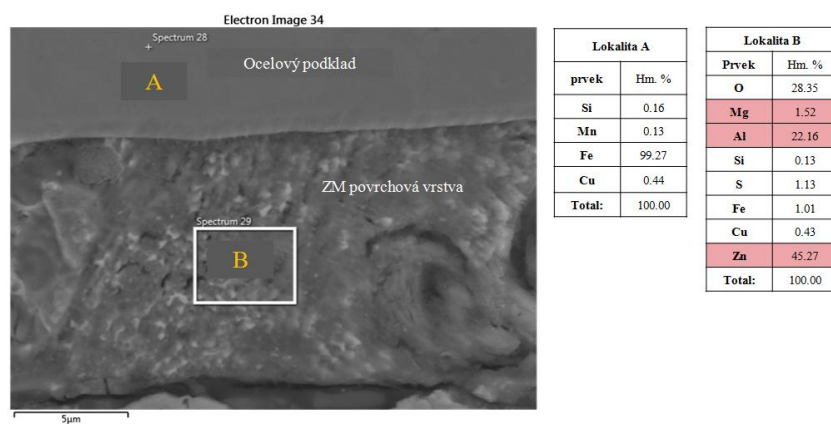


**Obr. 3.1-6 Diagram chemického složení podél příčného řezu**

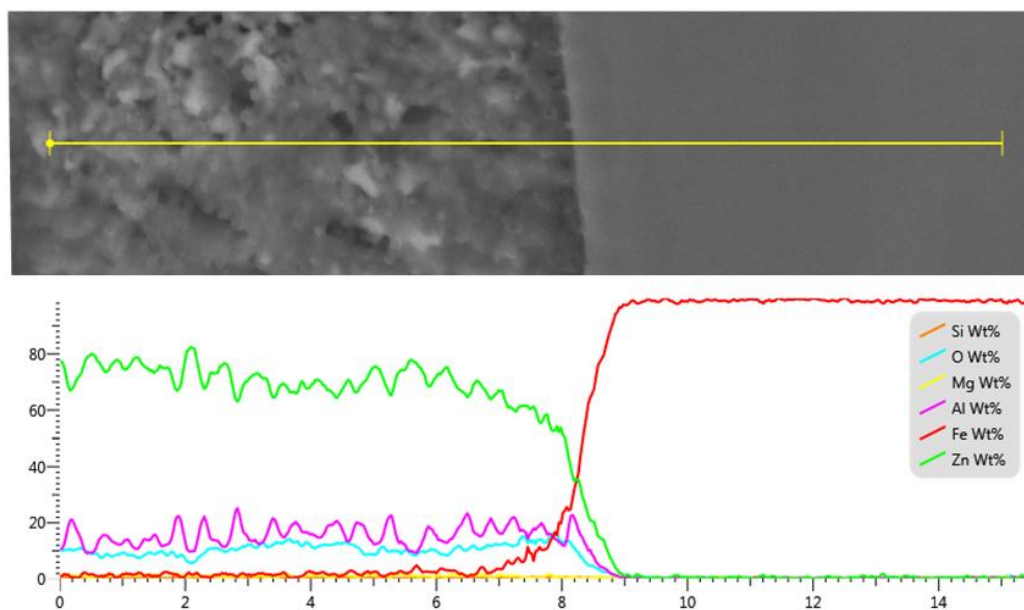
### 3.1.4 Analýza VoestAlpine ZM 100



**Obr. 3.1-7 Snímek řezu povrchové vrstvy VA ZM100, vlevo z elektronového mikroskopu, vpravo vyobrazení chemických prvků**



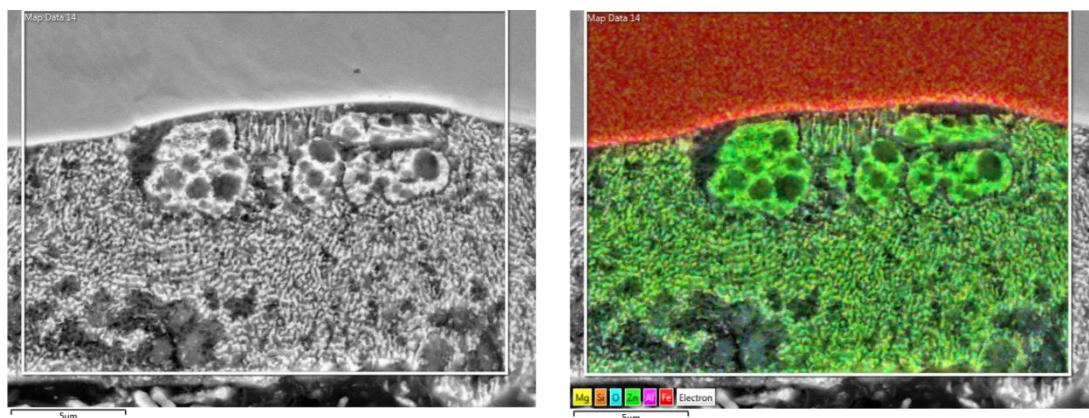
**Obr. 3.1-8 Chemické složení povrchové vrstvy VA ZM100**



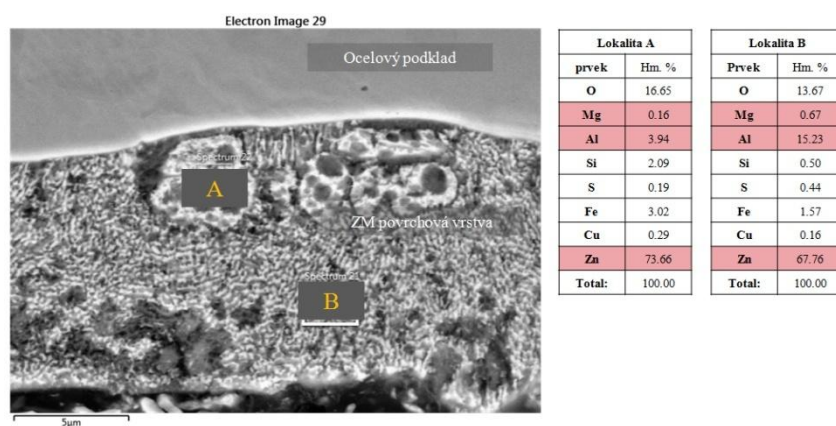
**Obr. 3.1-9 Diagram chemického složení podél příčného řezu**



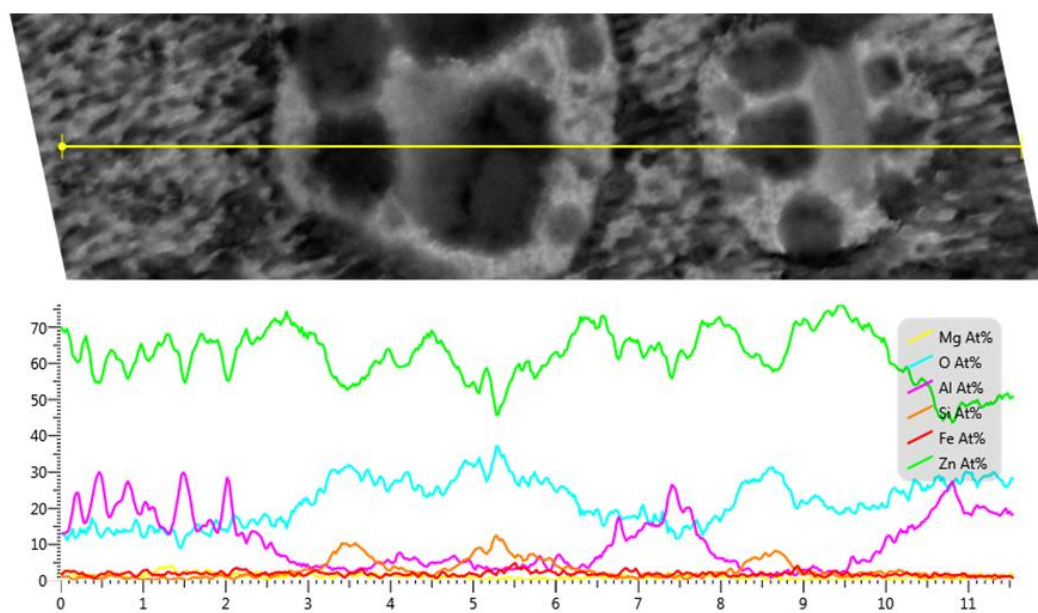
### 3.1.5 Analýza ArcelorMittal ZM 90



**Obr. 3.1-10 Snímek řezu povrchové vrstvy AM ZM90, vlevo z elektronového mikroskopu, vpravo vyobrazení chemických prvků**

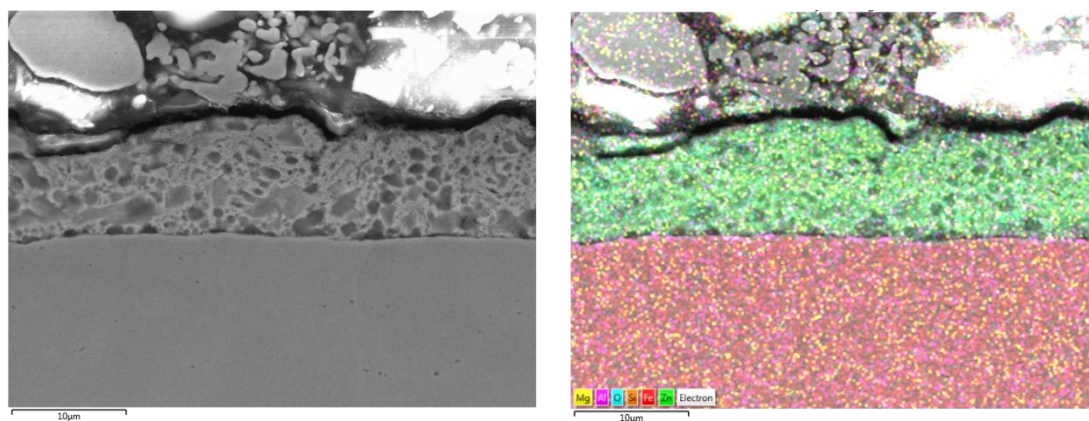


**Obr. 3.1-11 Chemické složení povrchové vrstvy AM ZM90**

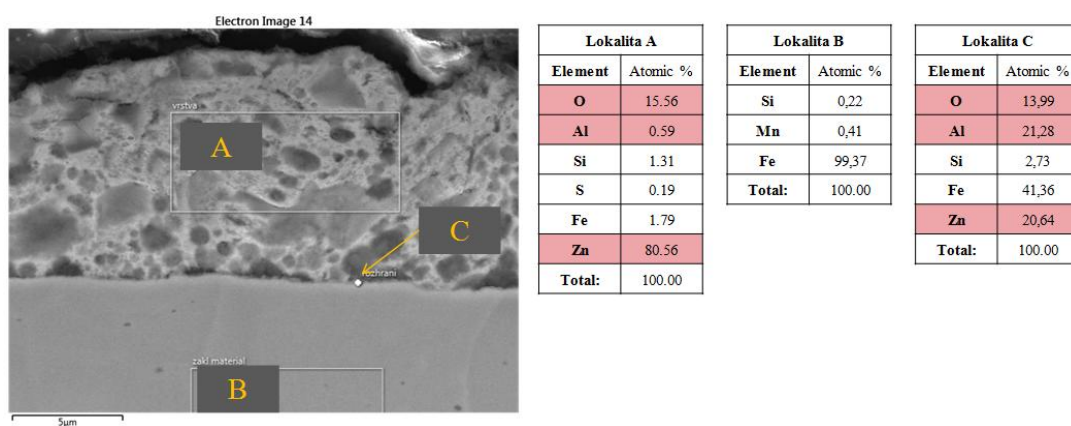


**Obr. 3.1-12 Diagram chemického složení podél příčného řezu**

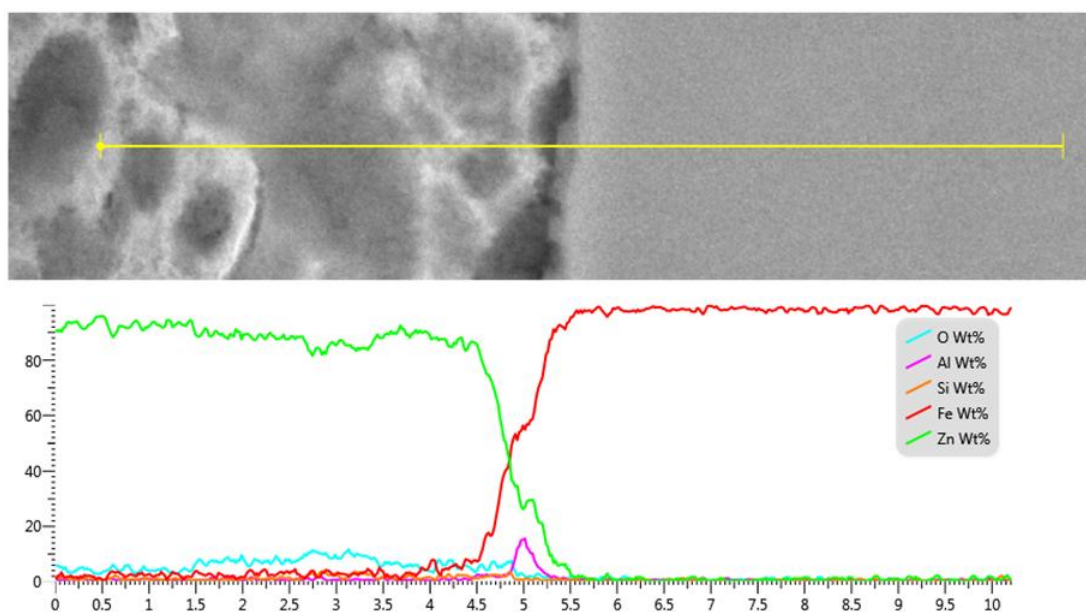
### 3.1.6 Analýza ArcelorMittal Z 100



**Obr. 3.1-13 Snímek řezu povrchové vrstvy AM Z100, vlevo z elektronového mikroskopu, vpravo vyobrazení chemických prvků**



**Obr. 3.1-14 Chemické složení povrchové vrstvy AM ZM90**



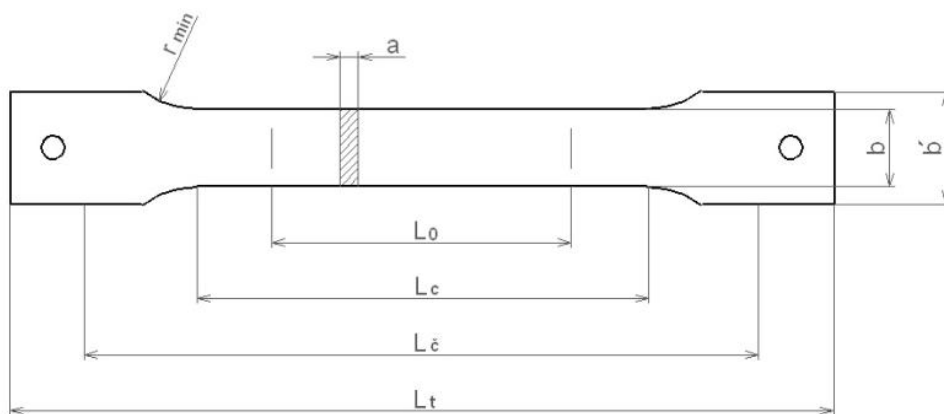
**Obr. 3.1-15 Diagram chemického složení podél příčného řezu**

### 3.2 Charakteristika povrchu při stavu jednoosé napjatosti

#### 3.2.1 Příprava vzorků

Při lisování dílů karosérie se vyskytuje široký rozsah deformací. Aby bylo možné analyzovat jednotlivé druhy vzorků, zvolily se hodnoty deformace materiálu v určitém rozmezí. Pro naše potřeby se zvolily čtyři stupně deformace. První stav bez deformace slouží jako vzorek pro porovnání povrchové struktury v počátečním stavu se vzorky s různým stupněm deformace. Pro navození stavu jednoosé napjatosti se zvolily vzorky ze statické zkoušky tahem. Průběh zkoušky se odlišoval pouze v zakončení. Při standardním průběhu se zkouška ukončí až při přetržení zkušební tyčky. Pro zachycení nejčastějších deformací plechů při lisování byly vzorky zhotoveny v následujících hodnotách deformací: 10 %, 20 %, 30 % deformace. Konečná délka vzorku se vypočítala za pomoci vztahu pro poměrné prodloužení. Vzorky byly vytvořeny na zkušebním zařízení Zwick Z030.

Zkušební vzorky pro tahovou zkoušku byly vytvořeny podle normy EN ISO 6892-1.



**Obr. 3.2-1 Plochá zkušební tyč obdélníkového průřezu [7]**

**Tab. 3.2-1 Výklad rozměrů k Obr. 3.2-1[7]**

Výklad označení rozměrů zkušební tyče			
Rozměr	Jednotka	Výklad	Předpis
$L_0$	[mm]	počáteční měřená délka zkušební tyče	-
$L_c$	[mm]	zkoušená délka zkušební tyče	$L_c = L_0 + 2b$
$L_\xi$	[mm]	vzdálenost mezi upínacími čelistmi	$L_\xi \geq L_0 + 3b$
$L_t$	[mm]	celková délka zkušební tyče	-
$b$	[mm]	šířka zkušební tyče	$b \geq 20 \text{ mm}$
$b'$	[mm]	šířka upínacích konců	$20 \text{ mm} < b' < 40 \text{ mm}$
$r_{\min}$	[mm]	přechodový poloměr	$r_{\min} > 12 \text{ mm}$
$a$	[mm]	tloušťka zkušební tyče	$0,1 \text{ až } 3,0 \text{ mm}$

Od každého druhu vzorků jsme vzali čtyři kusy. Konečnou měřenou délku tažení jsme vypočítali ze vztahu pro výpočet poměrného prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_u - l_0}{l_0} \Rightarrow l_u \quad [-] \quad (4.2.1)$$

$$l_u = l_0(\varepsilon + 1) \quad [m] \quad (4.2.2)$$

Zvolili jsme čtyři stupně deformace: a) 0 %, b) 10 %, c) 20 %, d) 30 %

Příklad výpočtu konečné délky tažení pro 10 % deformaci:

$$l_u = l_0(\varepsilon + 1) = 80(0,1 + 1) = 88 \text{ mm} \quad (4.2.3)$$

**Tab. 3.2-2 Vypočtené konečné délky tažení pro jednotlivé stupně deformace**

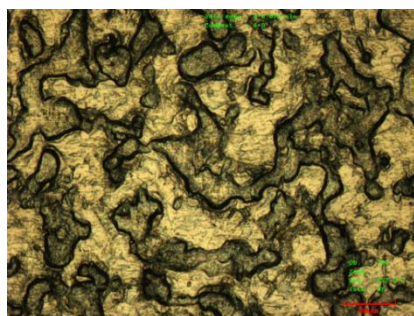
Stupeň deformace	0 %	10 %	20 %	30 %
Konečná délka tažení	80 mm	88 mm	96 mm	104 mm



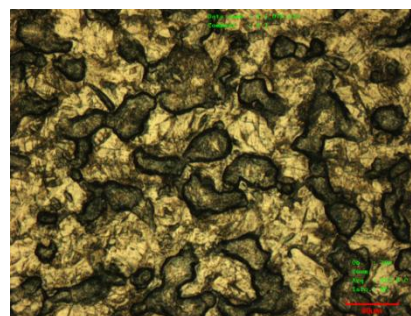


**Obr. 3.2-2 Ukázka vzorků vytvořených pomocí zkušebního zařízení Zwick Z030**

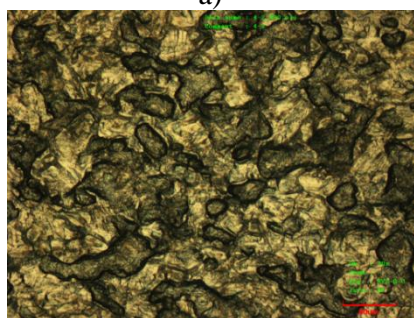
### **3.2.2 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ThyssenKrupp ZM 100**



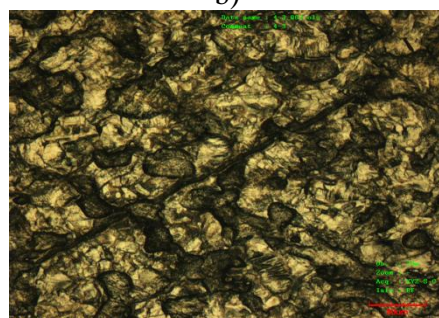
a)



b)



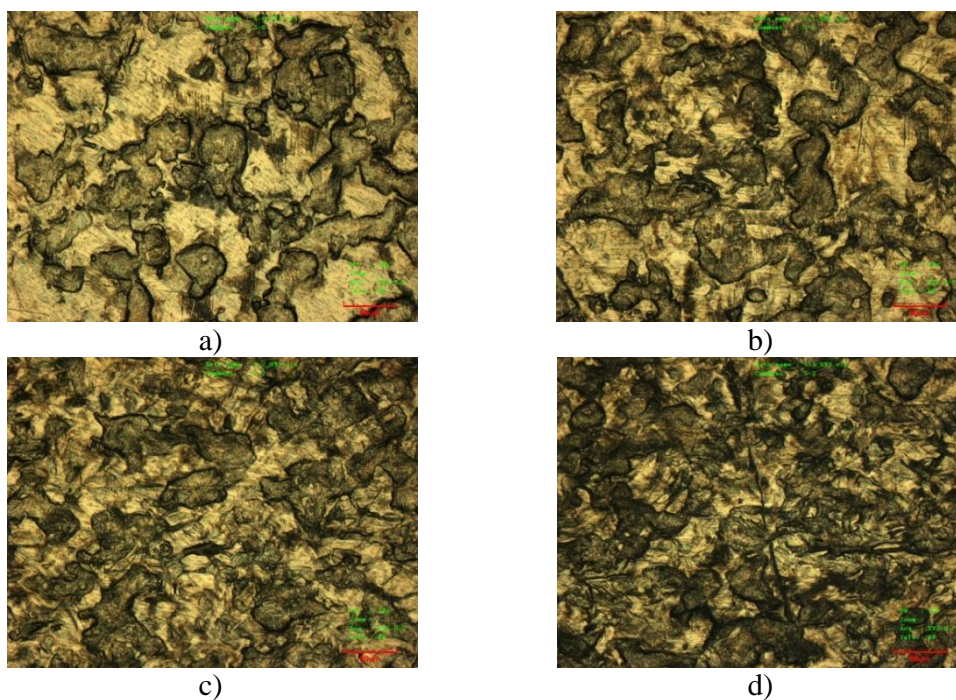
c)



d)

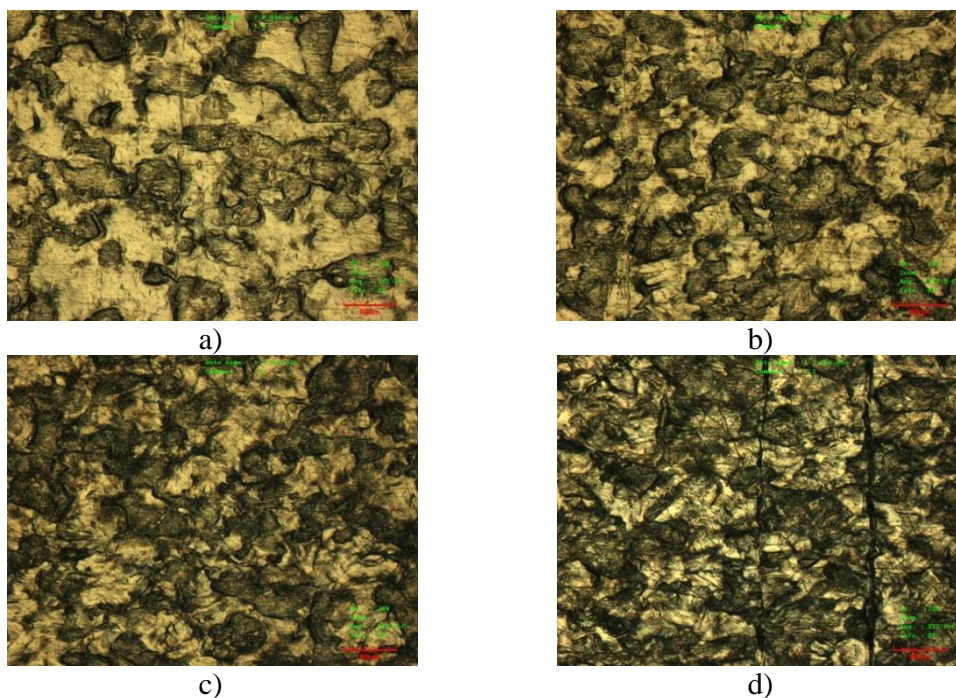
**Obr. 3.2-3 Snímky povrchové vrstvy TK ZM 100 při jednotlivých stupních deformace,  
a) 0 %, b) 10 %, c) 20 %, d) 30 %. Zvětšení mikroskopu 480x**

### 3.2.3 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 90



*Obr. 3.2-4 Snímky povrchové vrstvy VA ZM 90 při jednotlivých stupních deformace, a) 0 %, b) 10 %, c) 20 %, d) 30 %. Zvětšení mikroskopu 480x*

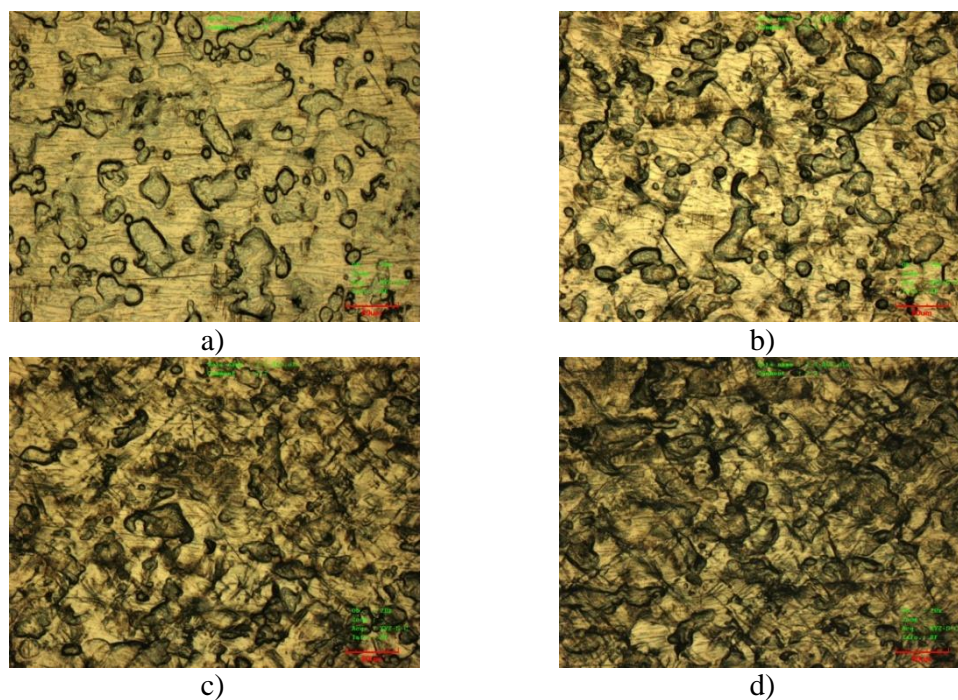
### 3.2.4 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 100



*Obr. 3.2-5 Snímky povrchové vrstvy VA ZM 100 při jednotlivých stupních deformace, a) 0 %, b) 10 %, c) 20 %, d) 30 %. Zvětšení mikroskopu 480x*

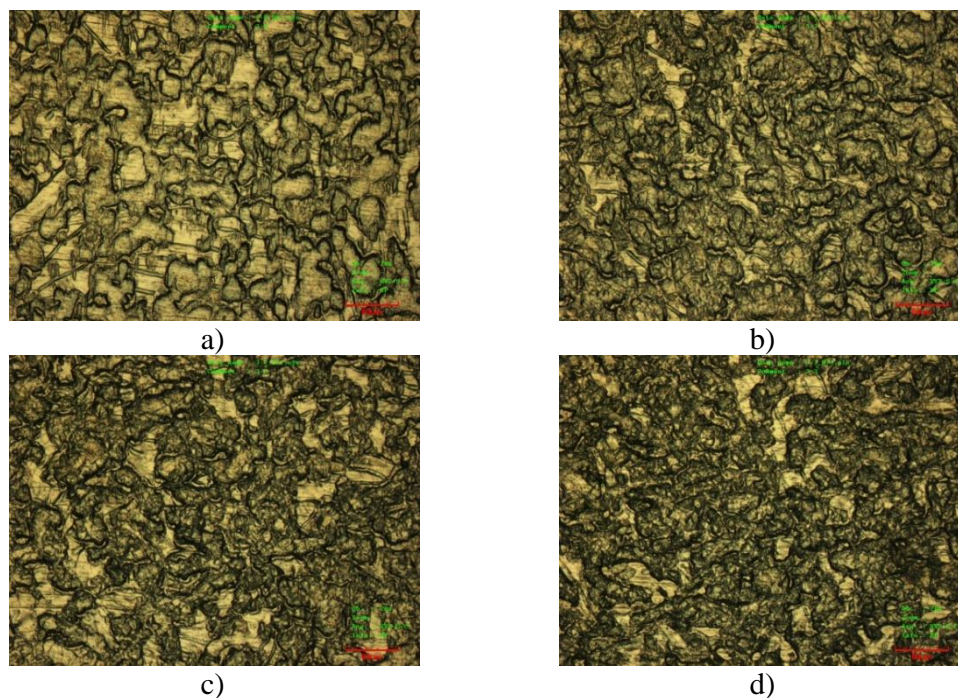


### 3.2.5 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal ZM 90



*Obr. 3.2-6 Snímky povrchové vrstvy AM ZM 90 při jednotlivých stupních deformace, a) 0 %, b) 10 %, c) 20 %, d) 30 %. Zvětšení mikroskopu 480x*

### 3.2.6 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal Z 100



*Obr. 3.2-7 Snímky povrchové vrstvy AM Z 100 při jednotlivých stupních deformace, a) 0 %, b) 10 %, c) 20 %, d) 30 %. Zvětšení mikroskopu 480x*

### 3.2.8 Hodnocení geometrie povrchu

Na zkušebních vzorcích jsem provedl základní měření geometrie povrchu za pomoci mechanického drsnoměru Perthometer M4Pi od firmy Mahr. Pro popis geometrických vlastností jsem volil následující parametry:

***Střední aritmetická hodnota drsnosti  $R_a$  [ $\mu\text{m}$ ]***- aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky  $l_r$ [7].

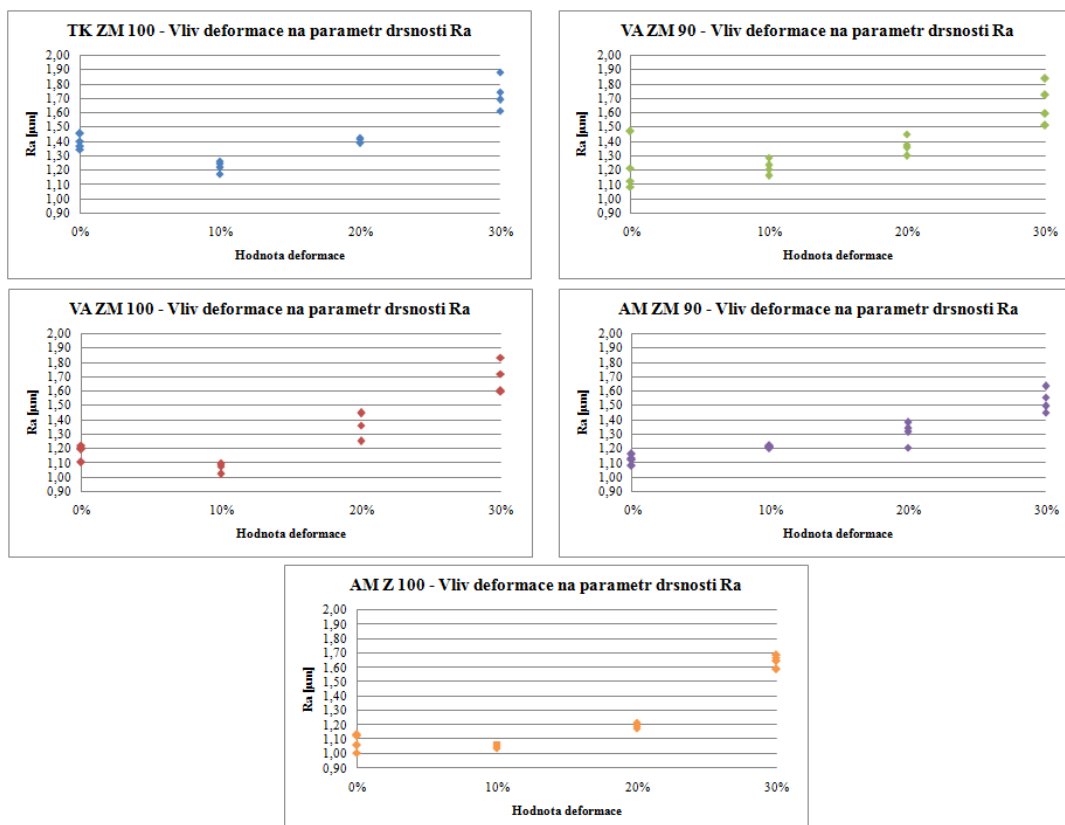
***Počet elementů profilu  $R_{PC}$  [ $\mu\text{m}$ ]*** – počet výstupků na 10 mm vztažené délce, která stanovenou řeznou hladinu  $c_1$  překračuje a následně klesá pod spodní řeznou hranici  $c_2$ [7].

***Hloubka drsnosti  $R_z$  [ $\mu\text{m}$ ]***– střední hodnota vzdálenosti mezi 5-ti nejnižšími body prohlubní a 5-ti nejvyššími body výstupků [7].

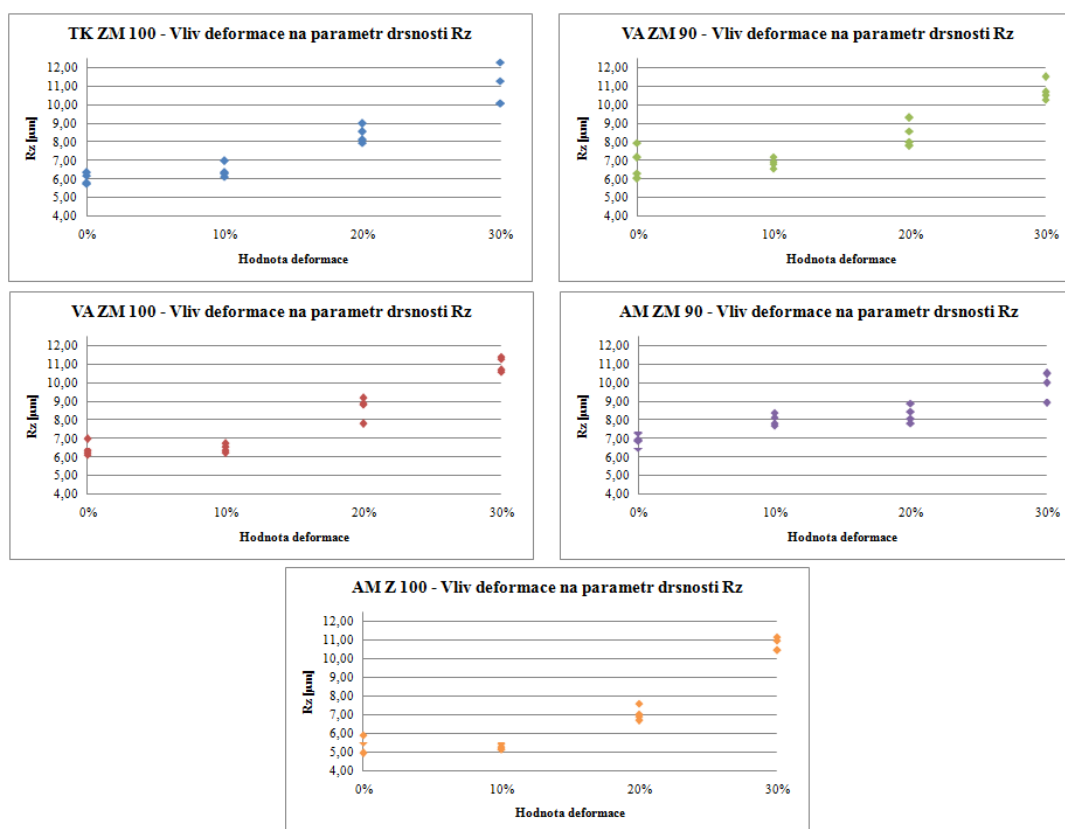
**Tab. 3.2-3 Změřené základní parametry geometrie povrchu**

	Deformace	0%	10%	20%	30%
TK ZM 100	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,399±0,055	1,220±0,046	1,408±0,018	1,747±0,135
	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	6,05±0,3	6,56±0,43	8,47±0,52	11,20±1,10
	$R_{pc}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	77±3,0	75,5±12,5	67±1,0	67±6,0
VA ZM 90	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,278±0,193	1,226±0,063	1,376±0,076	1,674±0,163
	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	6,99±0,96	6,89±0,33	8,55±0,76	10,90±0,60
	$R_{pc}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	48,5±4,5	43,5±4,5	39±4,0	48±6,0
VA ZM 100	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,164±0,059	1,064±0,038	1,350±0,098	1,716±0,118
	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	6,56±0,43	6,47±0,25	8,48±0,69	11,00±0,40
	$R_{pc}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	52±4,0	43,5±4,5	50,5±2,5	49,5±3,5
AM ZM 90	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,121±0,041	1,210±0,008	1,296±0,087	1,543±0,091
	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	6,935±0,405	8,06±0,35	8,37±0,55	9,72±0,78
	$R_{pc}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	54±4,0	44,5±5,5	48±7,0	47,5±2,5
HDG Z 100	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,068±0,060	1,058±0,019	1,198±0,022	1,693±0,048
	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	5,43±0,49	5,30±0,14	7,16±0,47	10,85±0,35
	$R_{pc}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	105,5±7,5	108±7,0	96,5±3,5	84±5,0

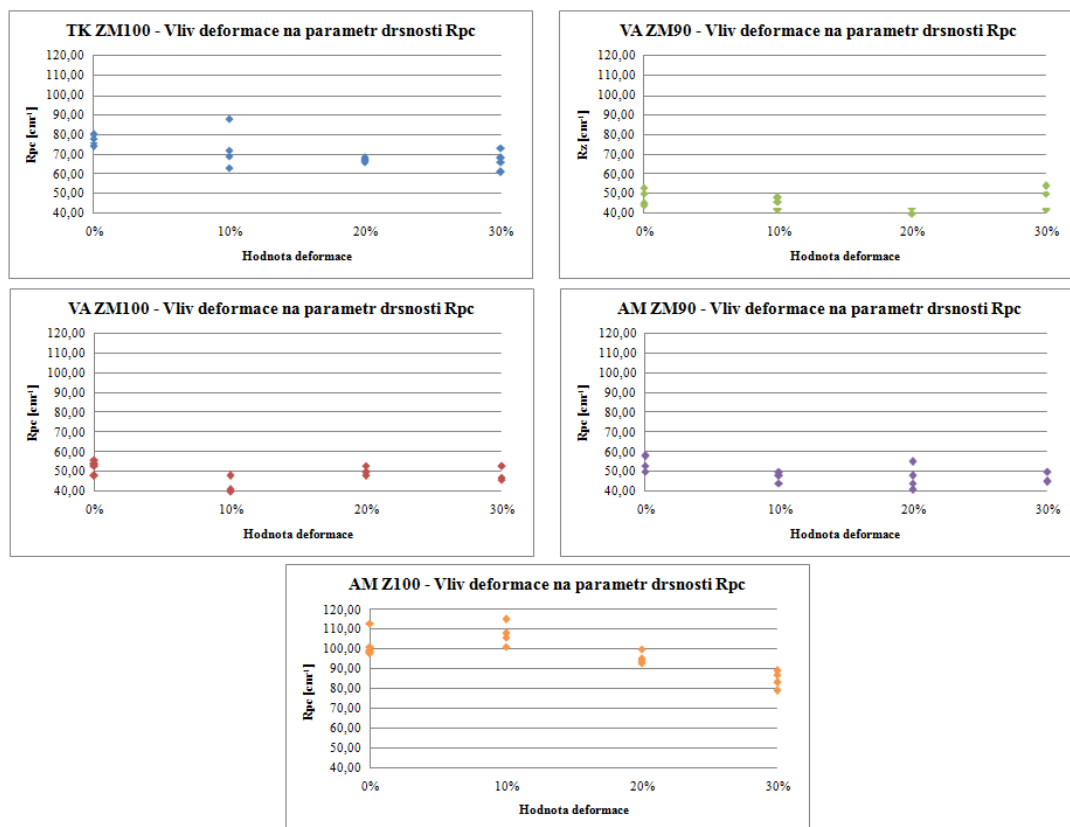




**Graf 3.2-1 Vliv deformace na parametr drsnosti  $R_a$**



**Graf 3.2-2 Vliv deformace na parametr drsnosti  $R_z$**



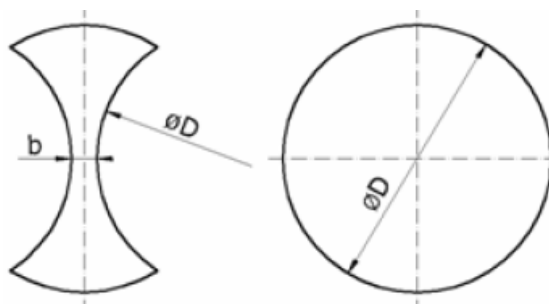
**Graf 3.2-3 Vliv deformace na parametr drsnosti  $R_{pe}$**

### 3.3 Charakteristika povrchu při víceosé napjatosti

Při reálném lisování plošných výlisků částí karosérií nastává víceosé namáhání. Pro simulaci víceosé deformace byla zvolena metoda vypínání tvarových přístříků polokulovým tažníkem. Při této metodě je vzorek tažen polokulovým tažníkem a v závislosti na tvaru přístříhu je deformován vícero deformací.

#### 3.3.1 Příprava vzorků

Přístříhy se vyráběly z kruhových výstřížků na výstředníkovém lisu. Pro tento experiment jsme zvolili dva typy přístříhů. Jeden s šířkou  $b = 30$  mm a druhý s šířkou  $b = 105$  mm. Od každého zkoumaného materiálu byly vytvořeny 4 kusy jednotlivých typů přístříhů.



**Obr. 3.3-4 Schéma přístřihu [6]**

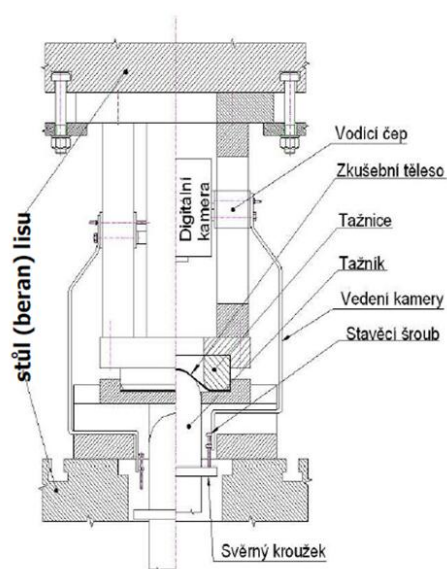


**Obr. 3.3-4 Přístřihy pro vypínací metodu**

Pro tažení vzorků jsem použil hydraulický dvojčinný lis. Schematické znázornění tažení je na obr. 3.3-5. Hloubka tažení pro jednotlivé stupně deformace byla zvolena tak, aby se hodnoty deformací podobaly hodnotám, kterých se dosahuje při běžném lisování plechů, až do fáze před porušením materiálu. Hloubky se určili za pomoci metody optického měřicího systému ARAMIS 4M. Touto metodou se vytvořil od každého materiálu a typu přístřihu vždy první kus. U přístřihu s šířkou  $b = 30\text{mm}$  byla zvolena jako počáteční hloubka 20mm. V této hloubce byla již patrná deformace u všech zkoušených vzorků, která činila přibližně  $\varphi = 0,180$ . Největší hloubka tažení se zvolila v bezpečné vzdálenosti od momentu, kdy došlo k výskytu první trhliny na zkoušeném vzorku. Tato hloubka činila 28mm a deformace  $\varphi = 0,490$ . Pro třetí stupeň deformace se použila střední hodnota těchto dvou, která vychází 24mm. Stejným způsobem byly určeny hloubky tažení i pro druhý typ přístřihu s šířkou  $b = 105\text{mm}$ .

**Tab. 3.3-1 Hloubky tažení vzorků**

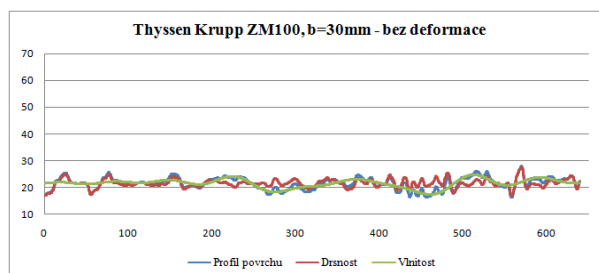
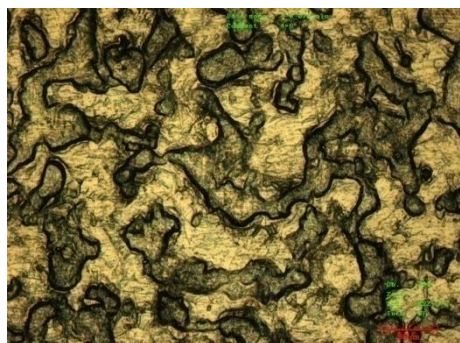
Šířka přístřihu $b$ [mm]	Deformace $\varphi_1$	Deformace $\varphi_2$	Hloubka tažení [mm]
30	0,180	-0,09	20
30	0,285	-0,15	24
30	0,490	-0,27	28
105	0,190	0,01	32
105	0,260	-0,01	37
105	0,365	-0,02	42



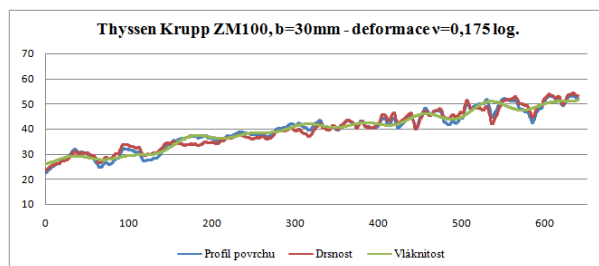
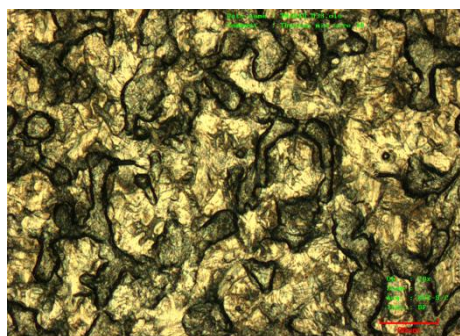
**Obr. 3.3-5 Schéma hydraulického lisu s polokulovým tažníkem [6]**

### 3.3.4 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ThyssenKrupp ZM 100, šířka vzorku $b=30\text{mm}$

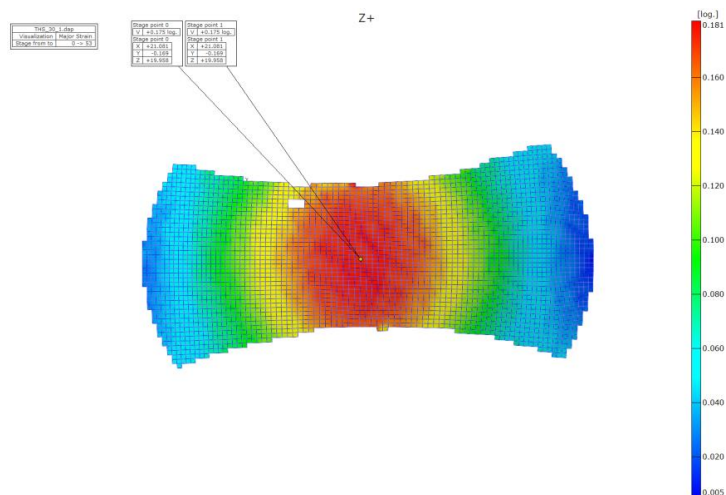
Při zkoumání povrchu materiálu se nejprve při menším zvětšení mikroskopu prohlédla větší oblast povrchu vzorku, aby bylo možné najít oblast s největším přetvořením a výskytem případných trhlin povrchové vrstvy.



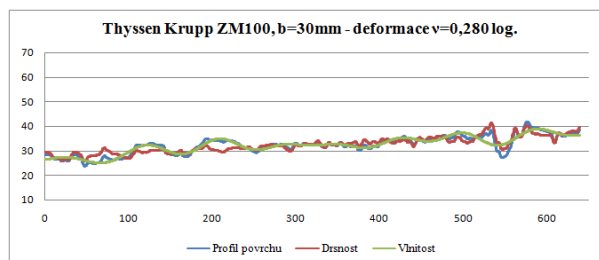
*Obr. 3.3-6 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100  $b=30\text{mm}$ , bez deformace, zvětšení 480x, vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku*



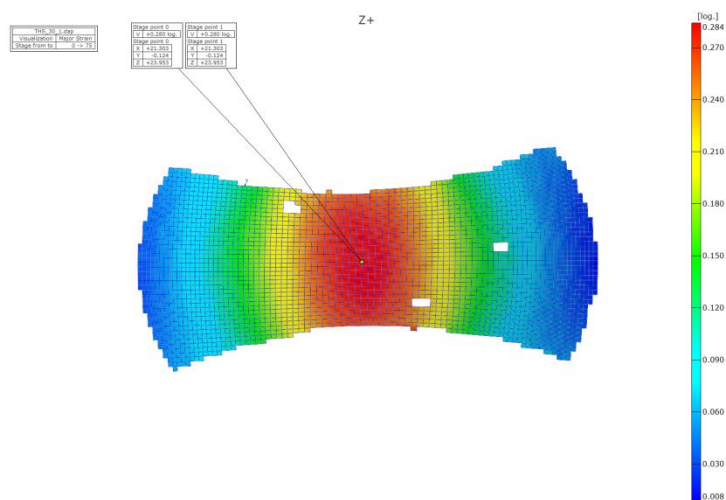
*Obr. 3.3-7 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,175, \varphi_2=-0,095$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku*



**Obr. 3.3-8 Model deformace TK ZM 100,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,175, \varphi_2=-0,095$**

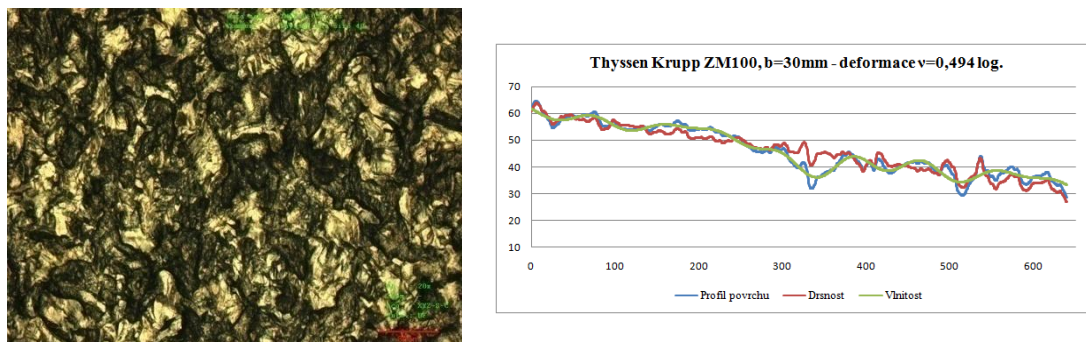


**Obr. 3.3-9 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,280, \varphi_2=-0,160$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**

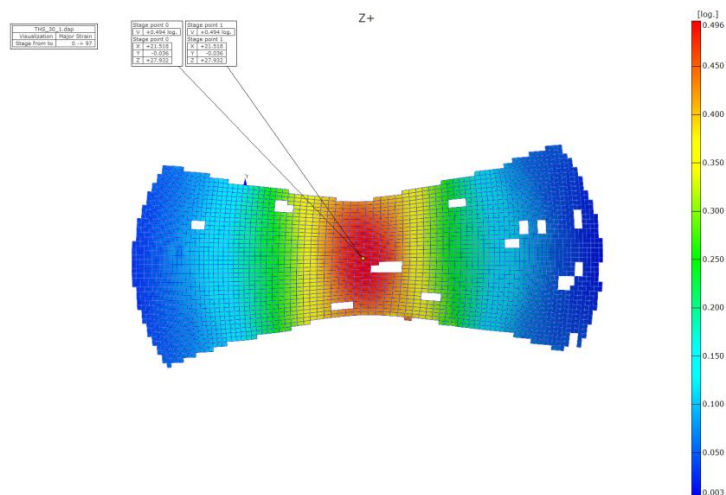


**Obr. 3.3-10 Model deformace TK ZM 100,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,280, \varphi_2=-0,160$**



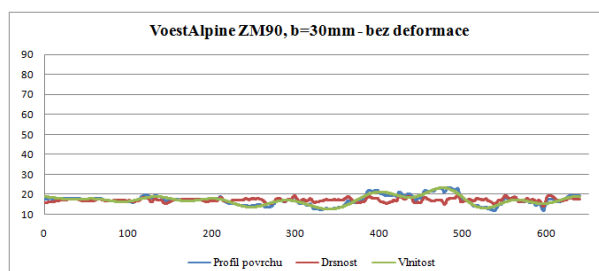


**Obr. 3.3-11** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,494, \varphi_2=-0,279$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku

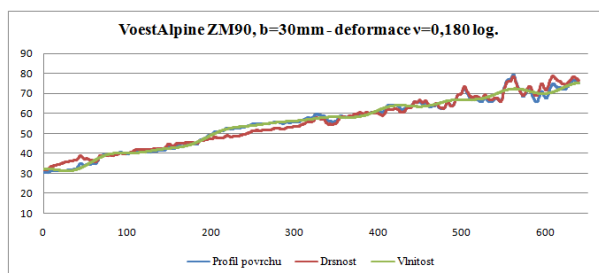
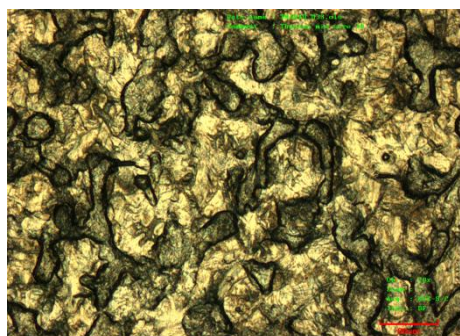


**Obr. 3.3-12** Model deformace TK ZM 100,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,494, \varphi_2=-0,279$

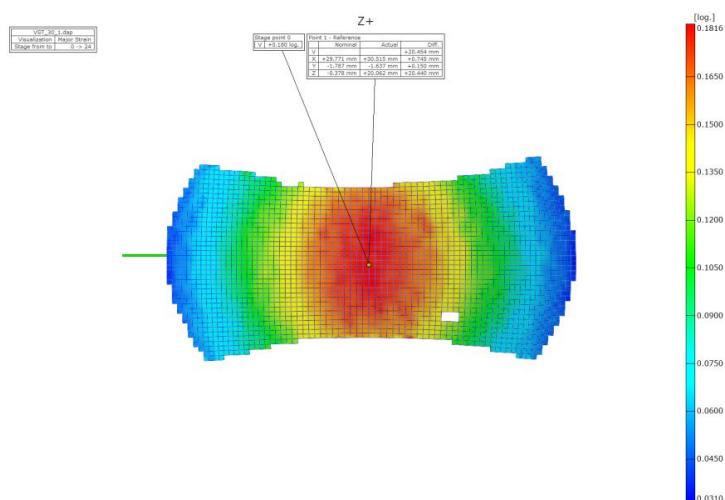
### 3.3.5 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 90, šířka vzorku $b=30\text{mm}$



*Obr. 3.3-13 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , bez deformace, vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku*

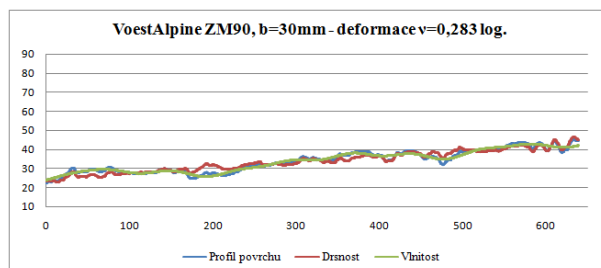
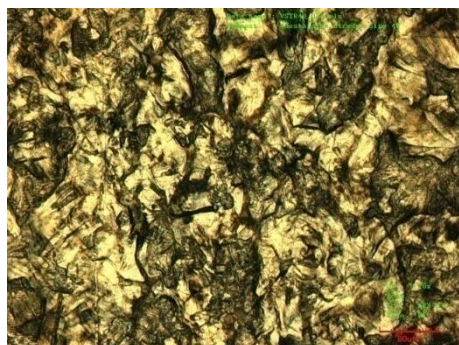


*Obr. 3.3-14 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,180$ ,  $\varphi_2=-0,093$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku*

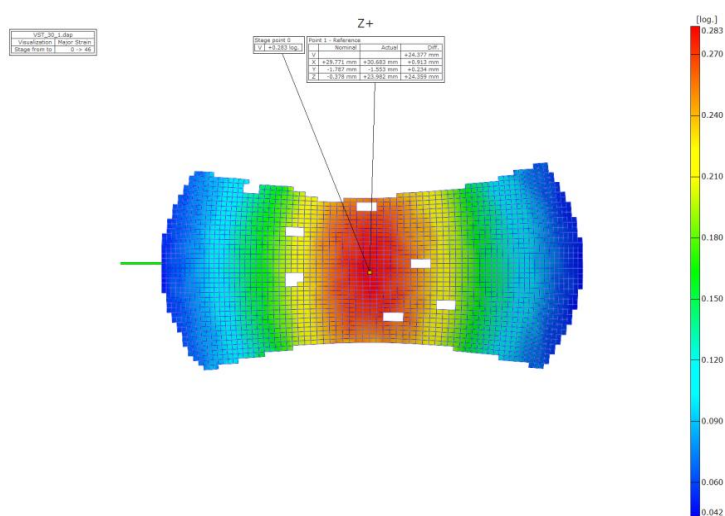


*Obr. 3.3-15 Model deformace VA ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,180$ ,  $\varphi_2=-0,093$*

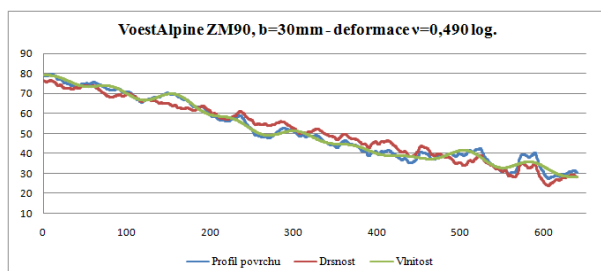




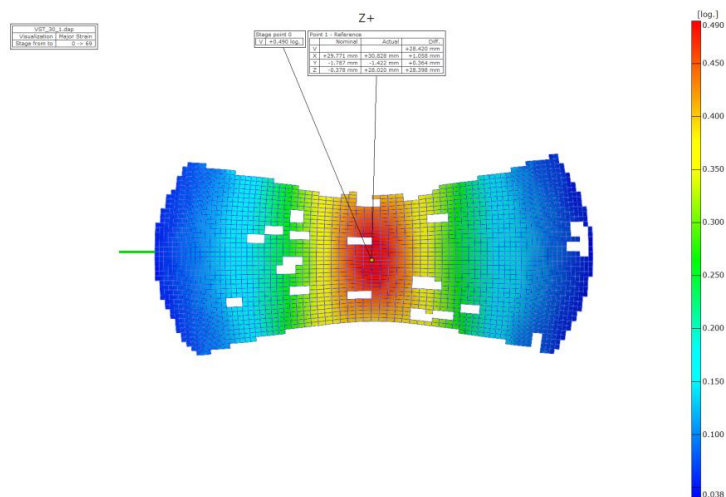
**Obr. 3.3-16 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,283, \varphi_2=-0,156$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**



**Obr. 3.3-17 Model deformace VA ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,283, \varphi_2=-0,156$**

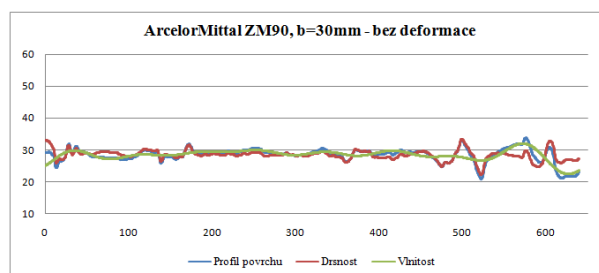
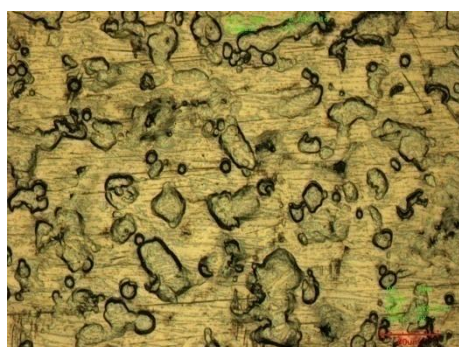


**Obr. 3.3-18 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,490, \varphi_2=-0,274$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**

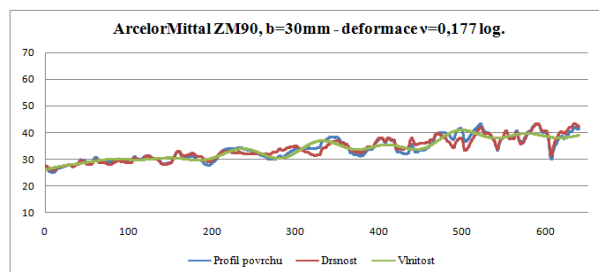
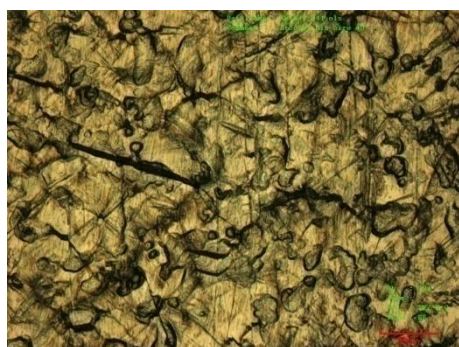


Obr. 3.3-19 Model deformace VA ZM 90,  $b = 30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1 = 0,490$ ,  $\varphi_2 = -0,274$

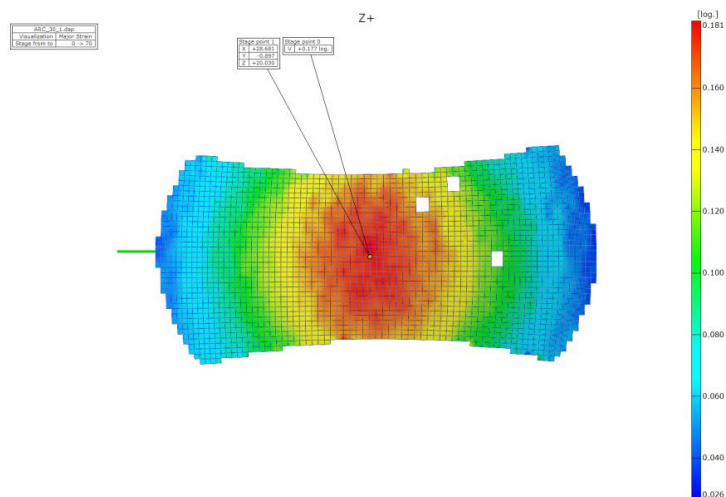
### 3.3.6 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal ZM 90, šířka vzorku $b = 30\text{mm}$



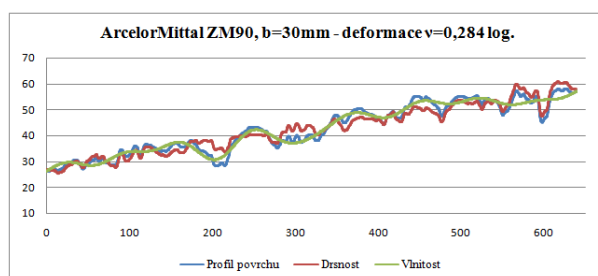
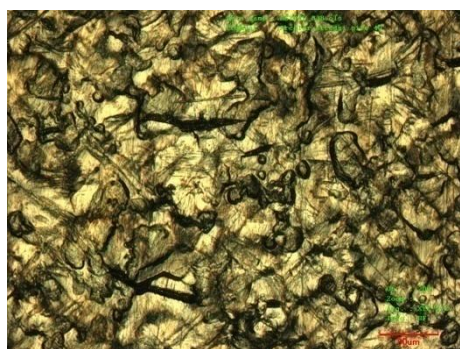
Obr. 3.3-20 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b = 30\text{mm}$ , bez deformace, vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



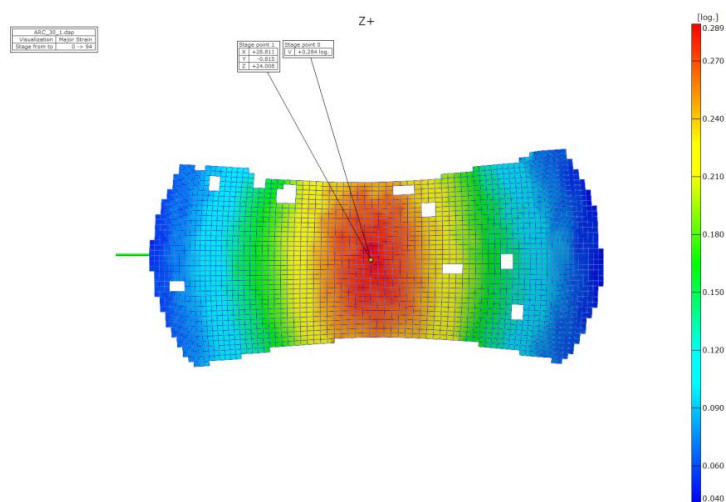
Obr. 3.3-21 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b = 30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1 = 0,177$ ,  $\varphi_2 = -0,089$  vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



**Obr. 3.3-22 Model deformace AM ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,177, \varphi_2=-0,089$**

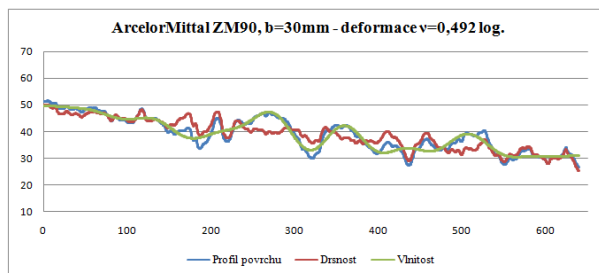
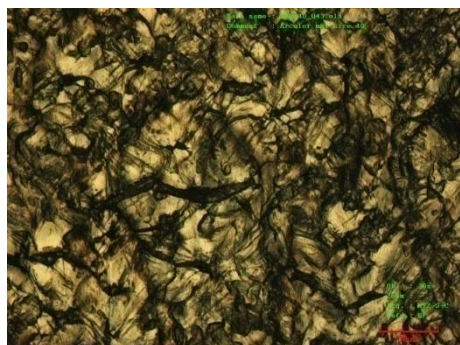


**Obr. 3.3-23 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,284, \varphi_2=-0,150$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**

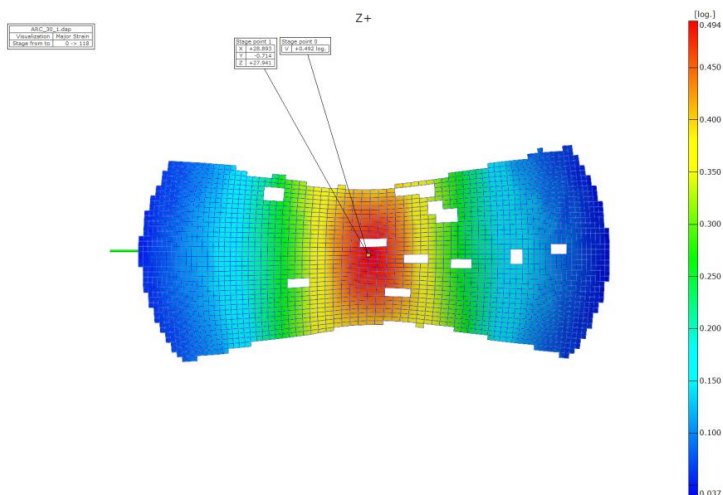


**Obr. 3.3-24 Model deformace AM ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,284, \varphi_2=-0,150$**



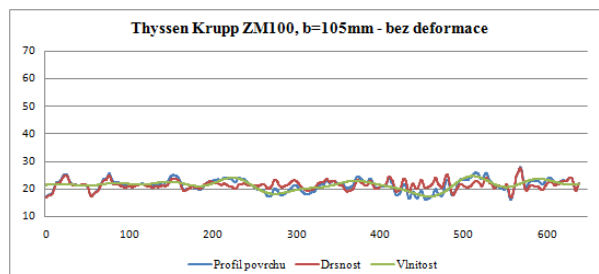
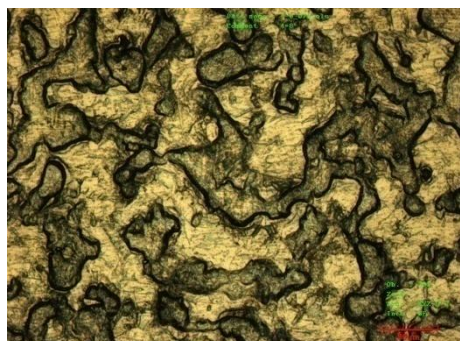


**Obr. 3.3-25** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,492$ ,  $\varphi_2=-0,260$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku

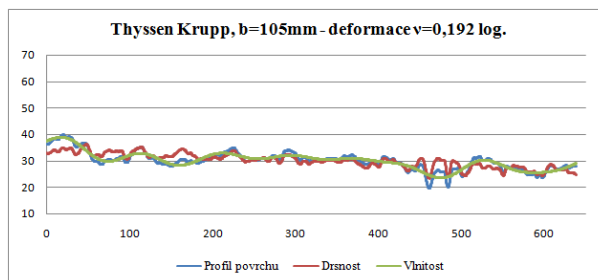


**Obr. 3.3-26** Model deformace AM ZM 90,  $b=30\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,492$ ,  $\varphi_2=-0,260$

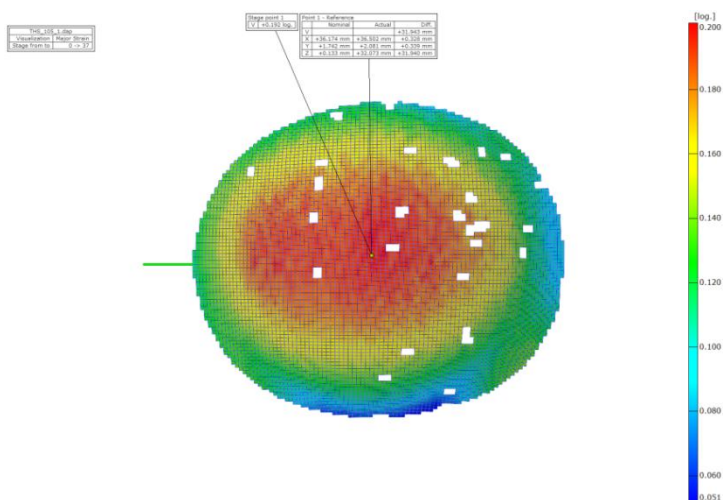
### 3.3.7 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ThyssenKrupp ZM 100, šířka vzorku $b=105\text{mm}$



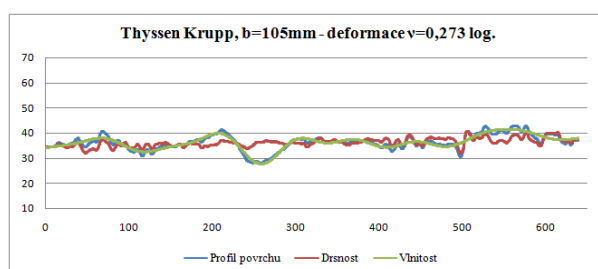
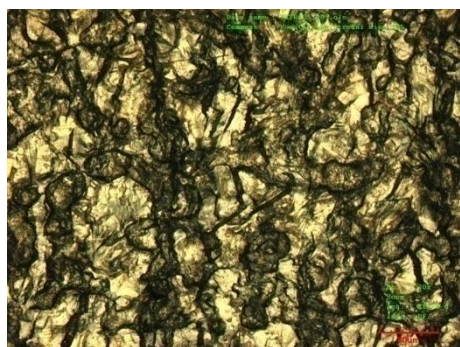
**Obr. 3.3-27** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100  $b=105\text{mm}$ , bez deformace, zvětšení 480x, vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



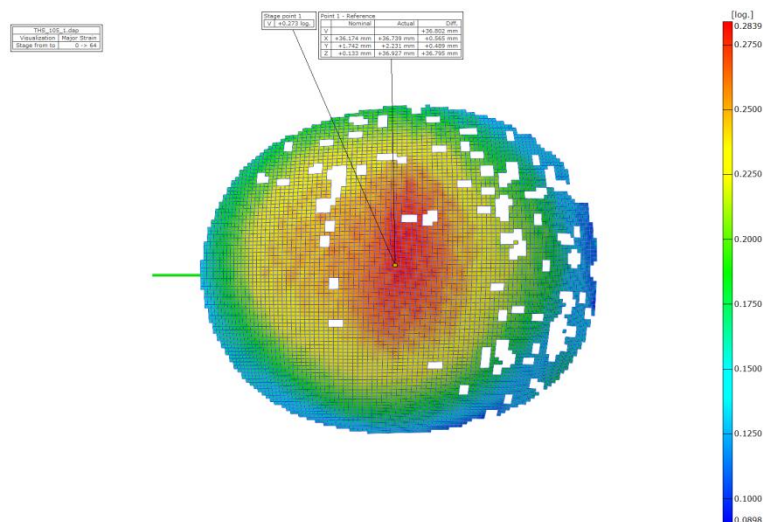
**Obr. 3.3-28** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100, b= 105mm, deformace  $\varphi_1=0,192$ ,  $\varphi_2=0,003$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



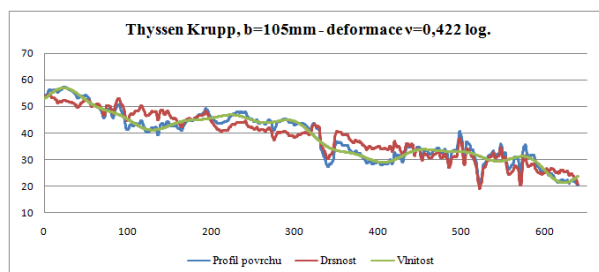
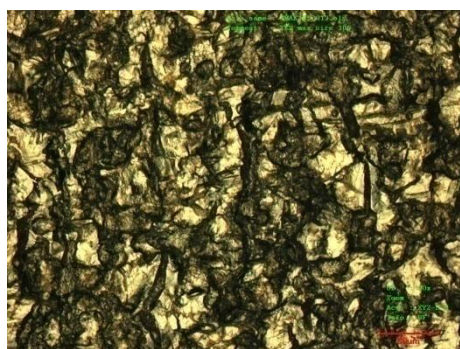
**Obr. 3.3-29** Model deformace TK ZM 100, b= 105mm, deformace  $\varphi_1=0,192$ ,  $\varphi_2=0,003$



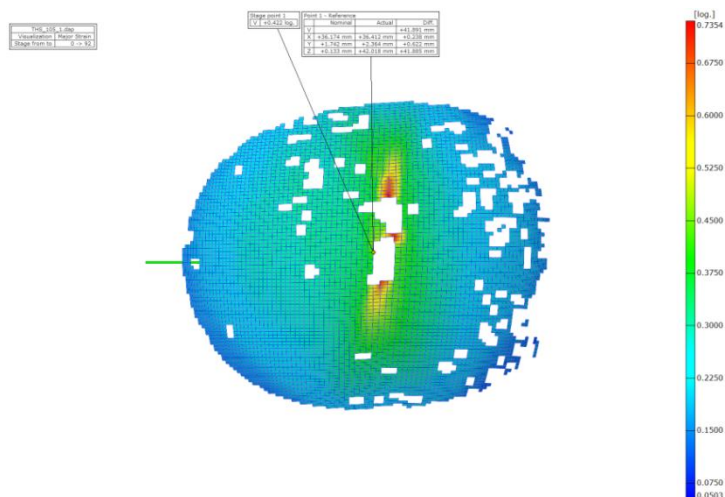
**Obr. 3.3-30** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100, b= 105mm, deformace  $\varphi_1=0,273$ ,  $\varphi_2=-0,010$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



**Obr. 3.3-31 Model deformace TK ZM 100,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,273$ ,  $\varphi_2=-0,010$**



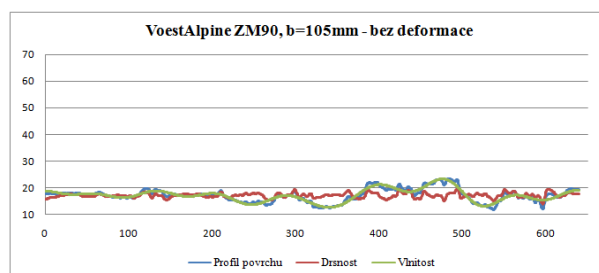
**Obr. 3.3-32 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu TK ZM 100,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,422$ ,  $\varphi_2=-0,029$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**



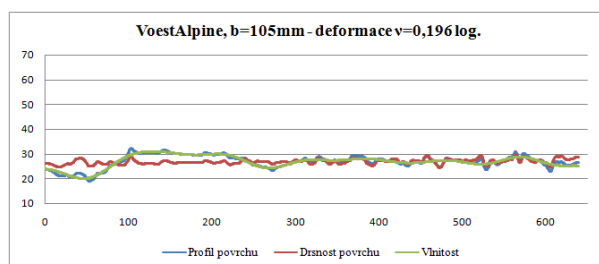
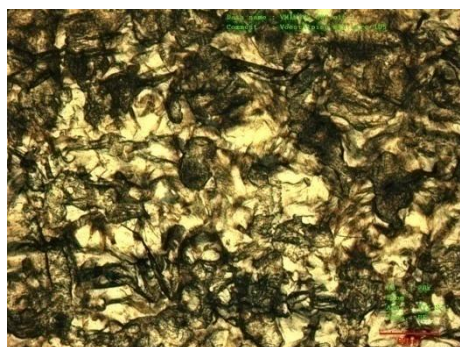
**Obr. 3.3-33 Model deformace TK ZM 100,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,422$ ,  $\varphi_2=-0,029$**



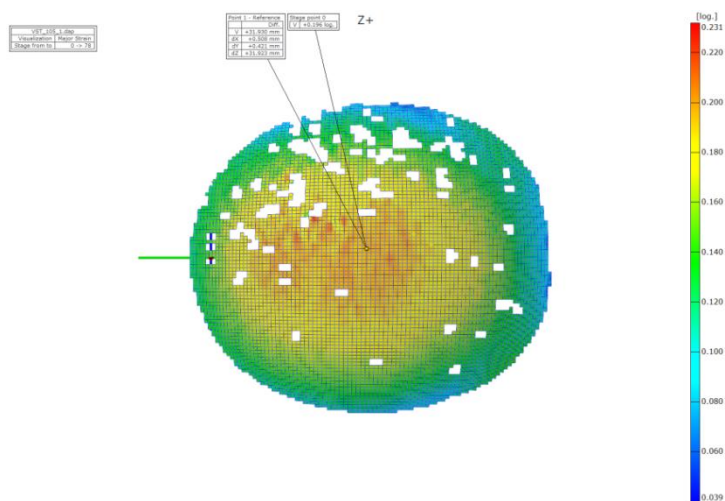
### 3.3.8 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy VoestAlpine ZM 90, šířka vzorku $b=105\text{mm}$



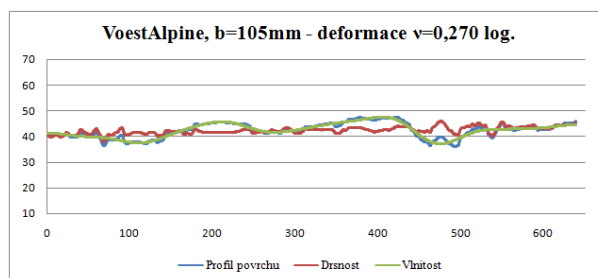
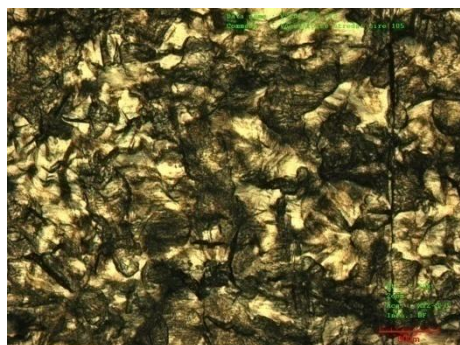
**Obr. 3.3-34** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , bez deformace, vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



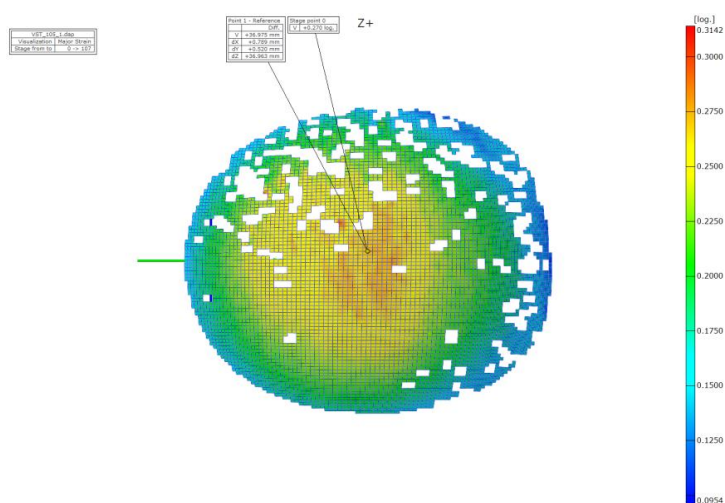
**Obr. 3.3-35** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,196$ ,  $\varphi_2=0,003$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



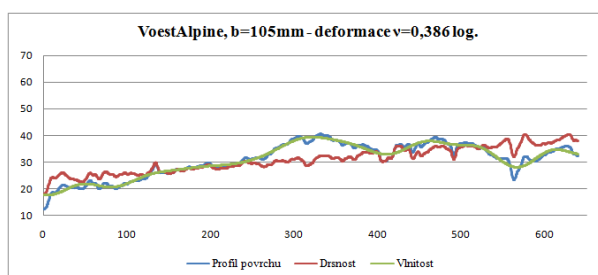
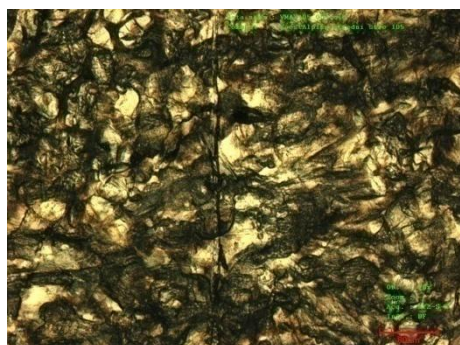
**Obr. 3.3-36** Model deformace VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,196$ ,  $\varphi_2=0,003$



**Obr. 3.3-37** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,270, \varphi_2=-0,006$  vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku

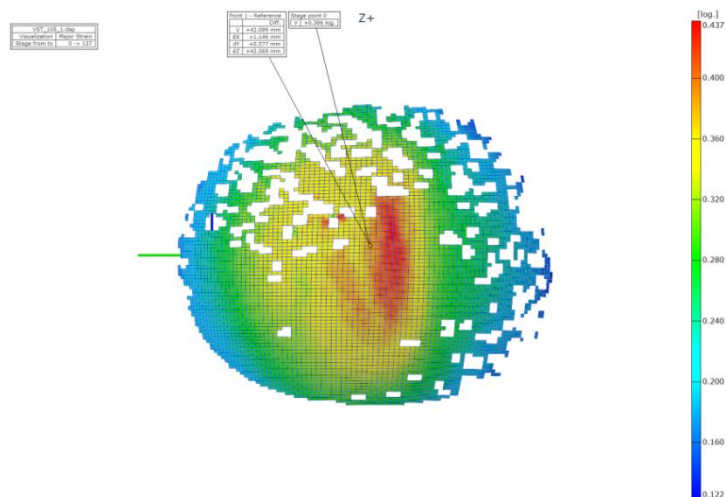


**Obr. 3.3-38** Model deformace VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,270, \varphi_2=-0,006$



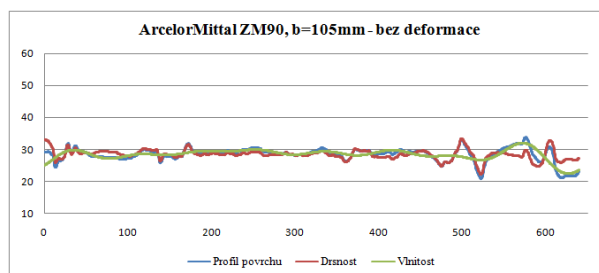
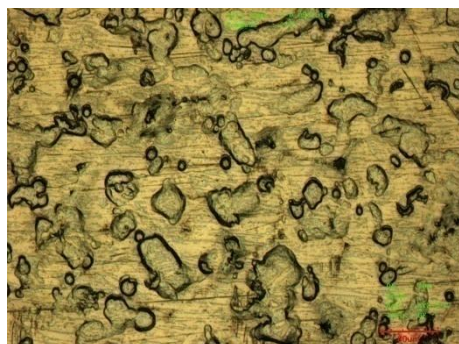
**Obr. 3.3-39** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,386, \varphi_2=-0,019$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



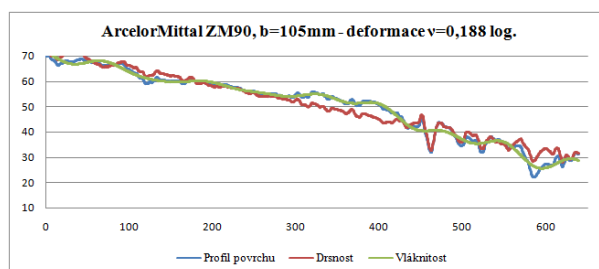


**Obr. 3.3-40 Model deformace VA ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,386$ ,  $\varphi_2=-0,019$**

### 3.3.9 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchové vrstvy ArcelorMittal ZM 90, šířka vzorku $b=105\text{mm}$

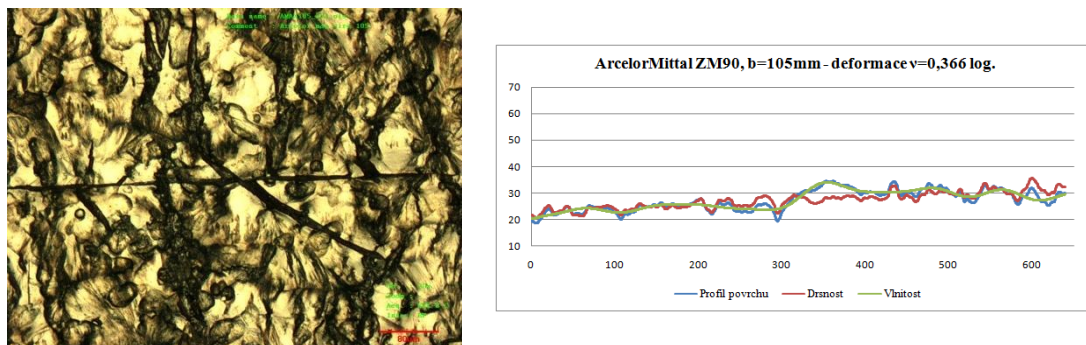


**Obr. 3.3-41 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , bez deformace, vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**

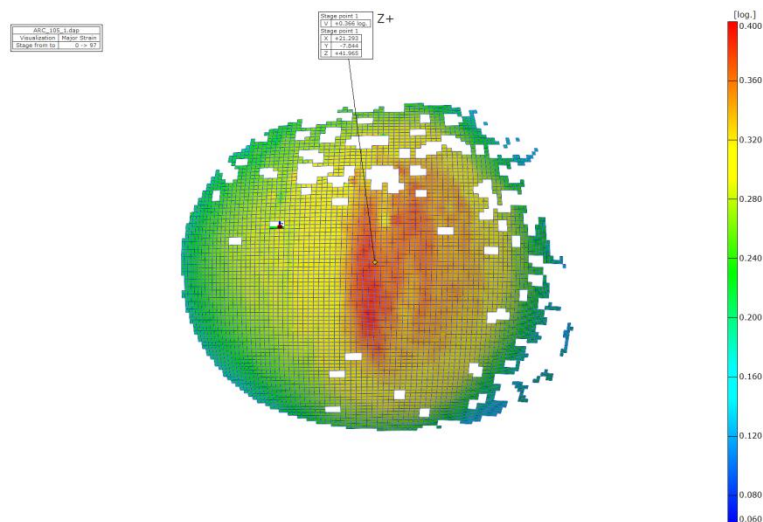


**Obr. 3.3-42 Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b=105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1=0,188$ ,  $\varphi_2=0,011$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku**





**Obr. 3.3-46** Výsledky zkoumání mikrostruktury povrchu AM ZM 90,  $b = 105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1 = 0,366$ ,  $\varphi_2 = -0,008$ , vlevo snímek z mikroskopu (zvětšení mikroskopu 480x), vpravo křivka profilu odpovídající snímku



**Obr. 3.3-47** Model deformace AM ZM 90,  $b = 105\text{mm}$ , deformace  $\varphi_1 = 0,366$ ,  $\varphi_2 = -0,008$

## 4 Zhodnocení výsledků

### 4.1 Zhodnocení výsledků při deformaci jednoosou napjatostí

#### Thyssen Krupp ZM 100

Společnost Thyssen Krupp udává hodnoty chemického složení povrchové vrstvy 1%Mg, 1%Al, 98% Zn. Pro tento plech používá označení EcoProtec. Rozložení jednotlivých prvků je rovnoměrné jak lze pozorovat na obr. 3.1-1. Při jednoosém tahovém namáhání si povrch vzorku zachoval neporušenost až do 20 % deformace. Při deformaci 30 % se začaly místy objevovat trhliny, ve kterých byl patrný houževnatý lom. Tyto trhliny vznikly působením smykových sil jak je patrné z obr. 4.2-5. Protikoroziční ZM povlak neměl při tomto způsobu namáhání tendenci se odlupovat. Střední aritmetická hodnota drsnosti  $R_a$  se pohybovala v nedeformovaném stavu okolo 1,4  $\mu\text{m}$ . Z počátku měla tendenci klesat, ale při 20 % deformaci nabyla podobných hodnot jako u nedeformovaného stavu. Při 30 % deformaci činila hodnota  $R_a$  cca 1,7  $\mu\text{m}$ .

#### VoestAlpine ZM 90

Výrobce udává chemické složení 2%Mg + 2%Al + 96%Zn. Struktura povrchu byla pravidelně uspořádaná. Při deformaci si povrchová struktura držela velmi dobré vlastnosti až do 30 % deformace, kdy se objevily drobné křehké trhliny. Tento druh trhlín vzniká při menším napětí než je mez kluzu daného materiálu a jsou tedy potenciálním zdrojem odlupování povrchové vrstvy. Hodnota  $R_a$  se u nedeformovaného materiálu pohybovala v rozmezí 1,1 – 1,4  $\mu\text{m}$ . Hodnota drsnosti se zvyšovala úměrně s deformací.

#### VoestAlpine ZM 100

Výrobce udává chemické složení 2%Mg + 2%Al + 96%Zn. Ve vrstvě povlaku se vyskytovaly velké oblasti tvořené oxidem, pravděpodobně se jednalo o dutiny. Struktura vrstvy byla značně nerovnoměrná s poměrně velkým obsahem Al (viz. obr. 4.1-9). Z hlediska deformace se vzorek choval podobně jako předchozí. Při 30 % deformaci se často objevovaly značné trhliny křehkého charakteru. Hodnota  $R_a$  se u nedeformovaného vzorku pohybovala v hodnotách 1,2  $\mu\text{m}$ , při 10 % deformaci měla klesající tendenci, ale při dalším stupni deformace tato hodnota začala stoupat. Při 30 % deformaci vykazoval vzorek velké rozpětí hodnot  $R_a = 1,6 - 1,8 \mu\text{m}$ .

### **ArcelorMittal ZM 90**

Výrobce udává chemické složení 3%*Mg* + 3,7%*Al*. Plech je nazýván Magnelis. Rozmístění prvků bylo ve vrstvě rovnoměrné s malými oblastmi s rozdílným složením (obr. 4.1-10). Při deformaci si povrchová vrstva zachovávala konstantní strukturu až do 20 % deformace. V oblasti 30 % deformace se ojediněle objevovaly vlásečnicové trhliny spíše tvárného charakteru. Z pohledu geometrie povrchu se drsnost *Ra* se rovnoměrně zvyšovala s rostoucí deformací až do hodnot *Ra*= 1,7 μm.

### **ArcelorMittal Z 100**

Struktura povrchu byla rovnoměrná. V přechodové oblasti byl patrný nárůst obsahu *Al*= 21 %. Při deformaci si povrchová vrstva zachovala velice dobrou strukturu i při 30 % deformaci. Při tomto stupni deformace se neobjevil ani jeden druh trhlín. Průběh hodnot *Ra* byl pozvolný vzrůstající až do hodnot *Ra*= 1,6 μm.

## **4.2 Zhodnocení výsledků při víceosé napjatosti, b= 30mm**

### **Thyssen Krupp ZM 100**

Povrchová vrstva vykazovala ve všech stupních deformace velmi dobrou strukturu. Při největší hloubce tažení byla deformace  $\varphi = 0,494 \log$ . V povrchové vrstvě se ojediněle vyskytovaly trhlínky, které měly tvárný charakter.

### **VoestAlpine ZM 90**

Povrchová vrstva vykazovala ještě při deformaci  $\varphi = 0,283 \log$  pravidelnou strukturu (obr. 4.3-16). Při největší hloubce tažení byla deformace  $\varphi = 0,490 \log$  a v povrchové vrstvě se začaly vyskytovat drobné vlásečnicové trhliny křehkého charakteru.

### **ArcelorMittal ZM 90**

Již při prvním stupni deformace  $\varphi = 0,177 \log$  se na povrchu vzorku objevovaly značné trhliny tvárného charakteru. Při největší hloubce tažení činila deformace  $\varphi = 0,492 \log$  a na povrchu se objevovaly široké tvárné trhliny ve dvou na sobě kolmých směrech.



### 4.3 Zhodnocení výsledků při víceosé napjatosti, $b=105\text{mm}$

#### Thyssen Krupp ZM 100

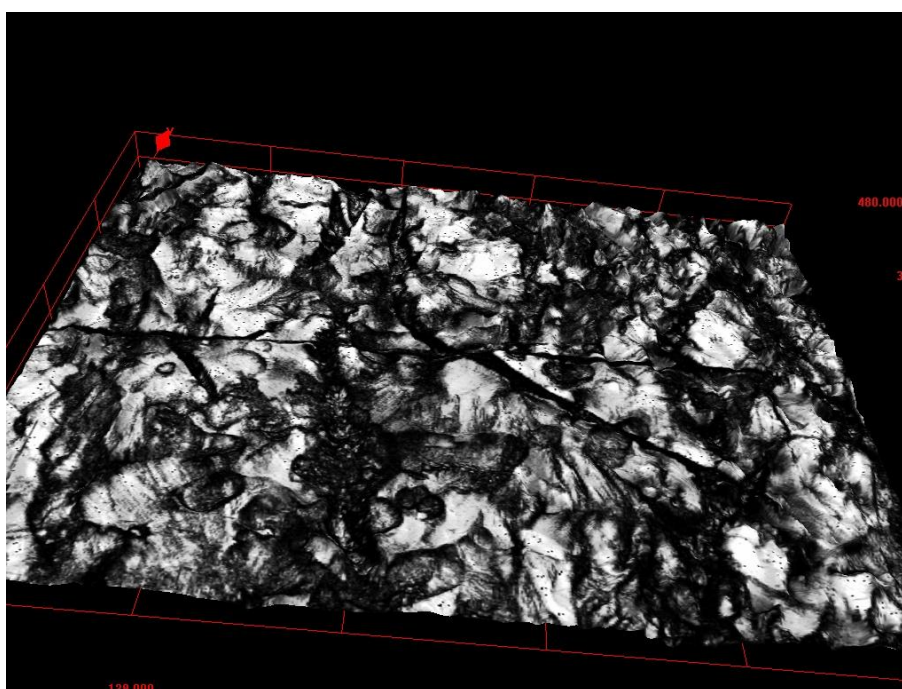
Povrchová vrstva vykazovala již při prvním stupni deformace  $\varphi=0,192 \log$  drobné trhliny, které se při vyšších stupních deformace významně nezvětšovaly. Při deformaci  $\varphi=0,273 \log$  byl už povrch velmi přetvořený (obr. 4.3-30).

#### VoestAlpine ZM 90

Při prvním stupni deformace  $\varphi=0,196 \log$  vykazoval povrch značné přetvoření a místy se již vyskytovaly drobné vlásečnicové trhliny. Při deformaci  $\varphi=0,270 \log$  se na povrchu objevovaly četné dlouhé trhliny křehkého charakteru. Tyto trhliny si zachovávaly stejnou podobu až do největší deformace  $\varphi=0,386 \log$  při hloubce tažení 42 mm (4.3-38, 4.3-39).

#### ArcelorMittal ZM 90

Tento vzorek vykazoval při prvním stupni deformace  $\varphi=0,188 \log$  značné přetvoření povrchové struktury. Vyskytovaly se rozsáhlé křehké trhliny. Při největším stupni deformace  $\varphi=0,366 \log$  se na povrchové vrstvě objevila trhлина s patrným odlupováním povrchové vrstvy. 3D snímek odlupující se vrstvy je na obr. 4.2-1.



*Obr. 4.2-1 3D snímek odlupující se povrchové vrstvy*

## 5 Závěr

Používání ZM povlaků zažívá v současné době obrovský vzestup hlavně v oblasti automobilového průmyslu. Tato bakalářská práce měla za úkol shrnout dočasné základní znalosti o těchto ochranných povlacích. Hlavním směrem experimentální části bylo zkoumání této povrchové vrstvy v závislosti na deformaci.

Z výsledků zkoumání vzorků s odlišným chemickým složením ochranného povlaku jsem zjistil, že složení legujících prvků má podstatný vliv na chování povrchu v závislosti na deformaci. Čistý zároveň pozinkovaný plech vykazuje konstantní změnu úměrnou velikosti deformace. To je způsobeno velmi dobrou tvářitelností samotného zinku.

Při porovnání stejného materiálu vzorku, ale při odlišných způsobech namáhání jsou zřejmé výrazné odchylky struktury povrchu. Obecně je možné říci, že čím složitější způsob namáhání, tím jsou vlastnosti povrchové vrstvy ZM horší. Při jednoosém stavu napjatosti se všechny vzorky, až na pár výjimek, chovaly podobně bez ohledu na jejich složení.

Při vypínací metodě se ukázalo, že při deformování širšího vzorku, kde namáhání probíhalo v obou směrech, došlo k výraznému zhoršení povrchu už při nízkých deformacích. Z tohoto hlediska by byl významný Bulgetest, který z technických důvodů nebylo možné při vypracovávání mé bakalářské práce provést.

Z poznatků mé bakalářské práce je zřejmé, že povrchové povlaky ZM jsou z hlediska lisování komplikovaných dílů karosérií velice citlivé na chemické složení. Vzorky s vyšším obsahem Mg a AL jsou více náchylné k tvorbě křehkých trhlin.

Doporučuji se problematikou nadále zabývat a to zejména s ohledem na:

- tribologii povlaků po deformaci
- korozní ochranu po deformaci

## 6 Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] ThyssenKrupp Steel Europe AG, *Zink-Magnesium-beschichtetes Feinblech ZM EcoProtect®*, Duisburg: [www.thyssenkrupp-steel-europe.com](http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com), 6 s.
- [2] DVOŘÁK, M., *Vliv mikrostruktury materiálu a morfologie povrchu na tvařitelnost při plošném tváření*, Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2008/2009
- [3] HLUCHÝ, M., Haněk, V., *Strojírenská technologie 2 – 2. díl*, Praha: Scientia, 2001, 176 s., ISBN 80-7183-245-6
- [4] MICHNA, Š., NOVÁ, I., *Technologie a zpracování kovových materiálů*, Prešov: Adin s.r.o., 2008, 326 s.
- [5] ERIKKSON, H., HIRNOVÁ, A., *Příručka žárového zinkování*, [online] [citováno 2.5.2013] Stockholm, 2005, 60 s.
- [6] KOLNEROVÁ, M., Studijní texty: *Metody tváření kovů*, TUL, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, 2010
- [7] PILVOUSEK, T., *Vliv vlastností vybraných šarží materiálu DC06 na tvařitelnost při plošném tváření*, Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2009/2010
- [8] KANIA H., *Trendy vývoje lázní pro žárové zinkování*, Konstrukce, odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství, [www.konstrukce.cz/clanek/trendy-vyvoje-lazni-pro-zarove-zinkovani](http://www.konstrukce.cz/clanek/trendy-vyvoje-lazni-pro-zarove-zinkovani), 2013
- [9] ŘÁDA, A., *Návrh nástroje pro výrobu tvarových přístřihů*, Diplomová práce, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009/2010
- [10] GIRMAN, V., *Kovové materiály automobilových konstrukcí – II Karoséria a karosářské plechy*, [online] [citováno 12. 5. 2013], [www.materialing.com/materialy\\_auto\\_konstrukcii](http://www.materialing.com/materialy_auto_konstrukcii), 2012
- [11] Voestalpine Stahl GmbH, *Feuerverzinktes Stahlband*, Linz, 02/2012, [online], [http://www.voestalpine.com/division\\_stahl/content/download/3976/30670/file/Tlb\\_Feuerverzinkt\\_Stahlb\\_E\\_20022012.pdf](http://www.voestalpine.com/division_stahl/content/download/3976/30670/file/Tlb_Feuerverzinkt_Stahlb_E_20022012.pdf)



[12] ArcelorMittal, *Magnelis®*, Luxembourg, 02/2011, [online], [http://www.szs.ch/user\\_content/editor/files/Downloads\\_Korrosionsschutz/magnelis\\_en.pdf](http://www.szs.ch/user_content/editor/files/Downloads_Korrosionsschutz/magnelis_en.pdf)

[13] POPOV, V., L., *Kontaktmechanik und Reibung. Ein Lehr- und Anwendungsbuch von der Nanotribologie bis zur numerischen Simulation*. Springer-Verlag, Berlin 2009, 328 s., ISBN 978-3-540-88836-9

[14] ČSN EN 10346 (420110) *Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky – Technické dodací podmínky*, 2009, 32 s.

[15] Salzgitter Flachstahl AG, *Oberflächenveredelung - Elektrolytische Verzinkung*, [online] [citováno 20. 5. 2013], [http://www.salzgitter-flachstahl.de/de/Ueber\\_uns/Produktionsanlagen/Oberflaechenveredelung/Elektrolytische\\_Verzinkung](http://www.salzgitter-flachstahl.de/de/Ueber_uns/Produktionsanlagen/Oberflaechenveredelung/Elektrolytische_Verzinkung)

## **7 Přílohy**

**Příloha 1**      Tabulka s naměřenými hodnotami jakosti povrchu vzorků

## Příloha 1

**Tabulka naměřených hodnot jakosti povrchu vzorků.**

Typ	Deformace	0%				10%				20%				30%			
	Měření č.	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
TK ZM 100	Ra [μm]	1,454	1,344	1,401	1,369	1,265	1,250	1,174	1,220	1,393	1,425	1,418	1,390	1,746	1,882	1,690	1,612
	Rz [μm]	6,19	5,75	6,35	5,78	6,98	6,35	6,13	6,28	7,95	8,57	8,99	8,13	11,30	12,30	10,10	10,10
	Rpc [cm <sup>-1</sup> ]	74	78	76	80	69	88	72	63	67	66	68	67	68	61	66	73
VA ZM 90	Ra [μm]	1,215	1,124	1,470	1,085	1,206	1,235	1,289	1,163	1,452	1,358	1,300	1,379	1,593	1,722	1,511	1,836
	Rz [μm]	7,16	6,31	7,95	6,03	6,56	7,21	6,96	6,84	8,59	8,01	7,79	9,31	10,50	10,70	10,30	11,50
	Rpc [cm <sup>-1</sup> ]	50	53	44	45	46	39	42	48	38	35	43	40	50	42	54	42
VA ZM 100	Ra [μm]	1,194	1,203	1,223	1,105	1,101	1,078	1,026	1,093	1,446	1,252	1,361	1,448	1,721	1,598	1,600	1,834
	Rz [μm]	6,99	6,27	6,13	6,35	6,72	6,54	6,40	6,22	8,83	7,79	9,17	8,86	10,70	10,60	11,30	11,40
	Rpc [cm <sup>-1</sup> ]	53	54	48	56	48	41	40	39	50	53	48	50	53	46	53	47
AM ZM 90	Ra [μm]	1,080	1,122	1,132	1,161	1,211	1,216	1,218	1,202	1,382	1,341	1,209	1,317	1,633	1,495	1,452	1,555
	Rz [μm]	7,34	6,90	6,53	6,94	7,84	8,40	7,71	8,16	8,45	8,91	7,82	8,10	10,50	10,00	8,94	10,50
	Rpc [cm <sup>-1</sup> ]	58	58	53	50	48	44	50	39	41	48	55	44	50	45	50	45
HDG Z 100	Ra [μm]	1,133	1,008	1,061	1,127	1,060	1,076	1,039	1,049	1,209	1,196	1,220	1,176	1,645	1,686	1,590	1,672
	Rz [μm]	5,53	4,95	5,55	5,92	5,16	5,28	5,17	5,44	6,90	6,69	7,62	7,03	10,50	11,00	11,20	10,50
	Rpc [cm <sup>-1</sup> ]	99	113	101	98	106	101	108	115	95	93	94	100	89	79	87	83

### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce s konzultantem.

Datum 24. 5. 2013

Podpis

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 24. 5. 2013

Signature